Written in accordance with the Approved Syllabus of the Board of Secondary Education, West Bengal, as a Text-Book for Classes IX & X of Higher Secondary & Multipurpose Schools of West Bengal

[*Vide Circular No.* [illegible] *March, 1958*]

পদার্থবিজ্ঞানের গোড়ার কথা

(উচ্চতর মাধ্যমিক সংস্করণ)

প্রথম খণ্ড

(নবম ও দশম শ্রেণীর জন্য)

শ্রীদ্বিজেন্দ্র বিনোদ সিংহ, এম.এস্-সি. (কলিকাতা),
পি-এইচ্.ডি. (লণ্ডন), ডি.আই.সি. (লণ্ডন),
[কলিকা]তা বিশ্ববিদ্যালয়ের ফলিত পদার্থবিজ্ঞানের রীডার, ['Modern School Physics' ; 'Intermediate Practical Physics' ; 'Pre-University Practical Physics' ; 'ব্যবহারিক পদার্থবিজ্ঞানের কথা' (উচ্চতর মাধ্যমিক)—প্রভৃতি গ্রন্থ-প্রণেতা ; 'Intermediate Physics, Vols. I. & II' 'माध्यमिक भौतिक विज्ञान, पहला और दूसरा खण्ड' 'प्रारम्भिक भौतिक विज्ञान, 'पहला और दूसरा खण्ड' 'Pre-University Physics' ; 'College Physics, Vols. I & II'—প্রভৃতি গ্রন্থের যুগ্ম-প্রণেতা]
প্রণীত

মডার্ণ বুক এজেন্সী প্রাইভেট লি:
১০, বঙ্কিম চ্যাটার্জী স্ট্রীট
কলিকাতা—১২

প্রকাশক : শ্রীদীনেশচন্দ্র বসু
মডার্ণ বুক এজেন্সী প্রাইভেট লিঃ
[illegible]
কলিকাতা—১২

অনুবাদক
অধ্যাপক অমিতাভ সেন, এম.

প্রথম সংস্করণ, মার্চ, ১৯৫৯

প্রাপ্তিস্থান

১। বুকল্যাণ্ড প্রাইভেট লিমিটেড, ৪৪ জনস্টনগঞ্জ, এলাহাবাদ।

২। বুকল্যাণ্ড প্রাইভেট লিমিটেড, অশোক রাজপথ, পাটনা।

মুদ্রাকর : শ্রীসমরেন্দ্রভূষণ মল্লিক
বাণী প্রেস
১৬, হেমেন্দ্র সেন স্ট্রীট, কলিকাতা—৬

ভূমিকা

একথা আজ সকলেই উপলব্ধি করেন যে, বিদেশী ভাষার মাধ্যমে জ্ঞান ও বিজ্ঞানের কোন বিষয়ই তত সহজে বোধগম্য হয় না যত সহজে হয় মাতৃভাষার সাহায্যে। তাছাড়া আমাদের দেশে সামান্যসংখ্যক লোক মাত্র বিদেশী ভাষা বোঝেন বা শুদ্ধভাবে লিখিতে পারেন। তাই জনসাধারণের মধ্যে বিজ্ঞানের বহুল প্রচার করিতে হইলে বিজ্ঞানের তত্ত্ব ও তথ্যগুলি মাতৃভাষায় প্রচার করা প্রয়োজন। ইহা খুবই আনন্দের কথা যে, অধুনা আমাদের বাংলাভাষায় বিজ্ঞানের বিষয়গুলি কিছু কিছু পুস্তক আকারেও প্রকাশিত হইতেছে। কোন কোন পুস্তক ইতিমধ্যে বেশ সমাদৃতও হইয়াছে। সমস্ত ভারতের বাঙালীরা ছাড়াও বিভিন্ন প্রদেশে বিভিন্ন ভাষাভাষী অন্য বহু বিদ্বৎজন আছেন যাঁহারা বাংলাভাষার সম্পদ ও সুললিত শব্দ-বিন্যাসের অন্তর্নিহিত শক্তিতে আকৃষ্ট হইয়া বাংলা পুস্তকাদি পাঠ করেন। ইদানিং ইউরোপের অনেক দেশেও বাংলাভাষার কিছু কিছু চর্চা হইতেছে। এইরূপ সুন্দর ভাষায় বিজ্ঞানের বিষয়সমূহ সহজ করিয়া লিখিতে না পারার কোন যুক্তি [illegible] পারে না। তবে মুস্কিল হইল এই যে, আধুনিক বিজ্ঞানের নানা শাখার [illegible] তত্ত্ব ও তথ্যগুলি লিখিত আছে বিভিন্ন বিদেশী ভাষায়। ঐ জ্ঞান [illegible] সম্ভবপর হইলেও বৈজ্ঞানিক খুঁটিনাটি শব্দগুলির প্রতিশব্দ বাহির করা [illegible] না। তবে কি সম্পূর্ণ ও সুষ্ঠু বৈজ্ঞানিক পরিভাষা সৃষ্টি না হওয়া পর্যন্ত [illegible] ভাষায় বিজ্ঞানবিষয়ক পুস্তক লেখা উচিত নয়? এই প্রশ্নের বিজ্ঞানসম্মত উত্তর [illegible] যে, অনুশীলন ও প্রচেষ্টার মধ্য হইতেই প্রয়োজনীয় উপযুক্ত পরিভাষার সৃষ্টি [illegible]। কলিকাতা বিশ্ববিদ্যালয় কর্তৃক প্রকাশিত বাংলা 'বৈজ্ঞানিক পরিভাষা', শ্রীযুক্ত রাজশেখর বসু মহাশয়ের পারিভাষিক শব্দাবলী, রামেন্দ্রসুন্দর, জগদীশচন্দ্র, প্রফুল্লচন্দ্র, রবীন্দ্রনাথ প্রভৃতি মনীষিগণের ব্যবহৃত বৈজ্ঞানিক শব্দনিচয়, বাংলা সাময়িক পত্র ও পত্রিকাদিতে ব্যবহৃত নানারূপ সহজ ও সুন্দর বৈজ্ঞানিক শব্দ ইতিমধ্যেই বিজ্ঞান-বিষয়ক পুস্তক লিখনে যথেষ্ট সাহায্য করিয়াছে। অধ্যাপক সত্যেন্দ্রনাথ বসু পরিচালিত 'বঙ্গীয় বিজ্ঞান পরিষদ'ও 'জ্ঞান-বিজ্ঞান' পত্রিকার মাধ্যমে বাংলায় বৈজ্ঞানিক প্রবন্ধাদি প্রকাশের ব্যবস্থা করিয়া বাংলাভাষায় বিজ্ঞান প্রচারের সময়োচিত সহায়তা করিতেছেন। কৃতজ্ঞতার সহিত স্বীকার করিতেছি যে, পদার্থ-বিজ্ঞানের এই প্রাথমিক গ্রন্থটি প্রণয়ন করিতে এই উৎসগুলি হইতে নানারূপ পারিভাষিক শব্দ সঞ্চয়ন করিয়াছি। অর্থ স্পষ্টতর করার জন্য নূতন নূতন কিছু কিছু

প্রতিশব্দও নিজস্ব বিবেচনা অনুযায়ী প্রয়োগ করিয়াছি। শব্দগুলি যুক্তিসঙ্গত হইয়াছে কিনা বিজ্ঞানিগণই তাহা বিচার করিবেন।

স্কুলে বিজ্ঞান পঠন বাংলায় হইলে এবং কলেজে পঠন ইংরাজীতে চলিতে থাকিলে উচ্চশিক্ষা প্রয়াসী শিক্ষার্থীদের অসুবিধায় পড়িতে হইবে—এই যুক্তি সাময়িকভাবে খাটিতে পারে। আমি মনে করি আমাদের বিশ্ববিদ্যালয়ের বিভিন্ন স্তরের শিক্ষাও অচিরেই বাংলাভাষার মাধ্যমে শিক্ষা ও শিক্ষণ কার্য প্রচলিত হইবে। কেহ কেহ আবার মনে করেন যে, বাংলাভাষায় শিক্ষিত বিজ্ঞানী উচ্চতর গবেষণা কার্যে প্রবন্ধাদি পাঠে বিপন্ন বোধ করিবেন। এই কথা যুক্তিসহ নহে। বাংলাভাষার মাধ্যমে পঠন-পাঠন হওয়ার অর্থ এই নয় যে, ছাত্র-ছাত্রীরা ইংরাজী পড়িবে না। ইংরাজী-শিক্ষিত বিজ্ঞানীরা জার্মান, ফরাসী বা রুশীয়ভাষায় লিখিত বৈজ্ঞানিক প্রবন্ধাদি বুঝিতে পারেন না এইরূপ কথা শুনা যায় না। মূলভাষা হইতে পড়িতে হইলে মূলভাষা শিখিয়া লইতে হইবে। বর্তমানে ভারতীয়দের মধ্যে অনেকেই ইংরাজী তর্জমা হইতে ঐরূপ প্রবন্ধাদির আলোচ্য বিষয়গুলি পড়িয়া থাকেন। ইংরাজী অনুবাদ পাঠের বাংলা তর্জমা বন্ধ করিয়া মূল ভাষা হইতে বাংলা অনুবাদ করার চেষ্টা করিলে কাজটা সোজাসুজি এবং স্পষ্টতরও হইবে। মারফতী কাজে গলদ থাকে।

বৈজ্ঞানিক বিষয় শিক্ষা ব্যাপারে বর্তমান পরিস্থিতিতে বাংলাভাষীদের অন্য একটা চিন্তনীয় বিষয় আছে। যাঁহারা স্কুলে বা কলেজে শিক্ষণ কার্যে নিযুক্ত আছেন তাঁহারা এতকাল পঠন-পাঠন ইংরাজীতে করিয়াছেন। পুস্তকে কেবলমাত্র পারিভাষিক শব্দ ব্যবহার করা থাকিলে এবং উহাদের ইংরাজী মূলশব্দগুলি সঙ্গে না দেওয়া থাকিলে, অন্ততঃপক্ষে কতগুলি খুঁটিনাটি শব্দের ব্যাপারে, শিক্ষক-শিক্ষিকাদের পক্ষে আলোচ্য বিষয়সমূহ যথাযথ শিক্ষার্থীদের নিকট উপস্থিত করিতে অসুবিধা বা ভ্রান্তি হওয়া সম্ভব, কারণ অনেক প্রতিশব্দই এখন পর্যন্ত যথেষ্ট আলোচিত বা বহুজনগ্রাহ্য হয় নাই। এইরূপ অসুবিধা বা ভ্রম অতিক্রম করার উদ্দেশ্যে বহুক্ষেত্রে এই গ্রন্থে বাংলার পাশাপাশি ইংরাজী খুঁটিনাটি শব্দগুলিও দেওয়া হইয়াছে। পারিভাষিক শব্দগুলি অধিকতর স্থায়িত্ব লাভ করার সঙ্গে সঙ্গেই ইংরাজী শব্দগুলি তুলিয়া দেওয়া যাইবে।

এবার এই গ্রন্থে আলোচিত পাঠ্যতালিকার বহির্ভূত কতগুলি বিষয় সম্বন্ধে একটি কৈফিয়ৎ দেওয়া প্রয়োজন বোধ করি। মধ্যশিক্ষা পর্ষৎ কর্তৃক রচিত পদার্থবিদ্যার নবম, দশম ও একাদশ শ্রেণীর পাঠ্যক্রম অনুযায়ী গ্রন্থ প্রণয়ন করিতে খুব অসুবিধা

বোধ করিয়াছি। পাঠ্যক্রমের বিষয়বস্তুগুলি [illegible] করিয়া [illegible] করিতে গিয়া পাঠ্যক্রমে নাই এইরূপ অনেক বিষয়ও যথাযোগ্য স্থানে পূর্বে আলোচনা না করিয়া পারি নাই। পাঠ্যক্রম বহির্ভূত এই বিষয়গুলি গ্রন্থে থাকা আমি অত্যাবশ্যক মনে করিয়াছি। পাঠ্যপুস্তক অনাবশ্যকভাবে ভারগ্রস্ত করা কেহ পছন্দ করেন না, আমিও করি না। কিভাবে পাঠ্যক্রমের অন্তর্গত বিষয়সমূহ সহজতরভাবে বুঝানো যায় তাহা আমাকে নির্দেশ করিয়া দিলে, বলা বাহুল্য যে, আমি বিশেষ কৃতজ্ঞ থাকিব, বিদ্যার্থীরাও উপকৃত হইবেন।

উচ্চতর মাধ্যমিক বিদ্যার্থীদের জন্য পূর্ণাঙ্গ সহজপাঠ্য একখানা পদার্থবিদ্যার পুস্তক লেখার জন্য আমার পরম শ্রদ্ধাভাজন, শুভাকাঙ্ক্ষী, বঙ্গবাসী কলেজের ইংরাজীর প্রথিতযশা অধ্যাপক শ্রীধীরেন্দ্রনাথ ঘোষ মহাশয় বহুদিন যাবতই আমাকে বিশেষ অনুরোধ করিয়া আসিতেছিলেন। তাঁহার নাম উল্লেখ করিয়া ঋণমুক্ত হওয়ার চেষ্টা করা বাতুলতা, বিজ্ঞানের প্রসারের জন্য তাঁহার ঐকান্তিকতা লক্ষ্য করিয়া মুগ্ধ হইয়াছি তাহা লিপিবদ্ধ করিতে চাই মাত্র।

আমার ছাত্র পদার্থবিদ্যার সুযোগ্য অধ্যাপক শ্রীমান অমিতাভ সেন আমার লিখিত 'Modern School Physics'-এর প্রাথমিক বাংলা অনুবাদ করিয়াছিলেন। আমার কনিষ্ঠ সহোদর বাংলাভাষার অধ্যাপক ডক্টর জীবেন্দ্র বিনোদ সিংহরায়ও ঐ অনুবাদ ব্যাপারে আমাকে সাহায্য করিয়াছেন। ইঁহারা আমার ধন্যবাদভাজন।

ফলিত পদার্থবিজ্ঞান বিভাগ,
কলিকাতা বিশ্ববিদ্যালয়,
১লা মার্চ, ১৯৫৯।

শ্রীদ্বিজেন্দ্র বিনোদ সিংহ,
গ্রন্থকার।

Higher Secondary Course

Physics Syllabus (Group 2, Science)

(*For Classes IX and X*)

General Physics

N. B. The numerical numbers in Bengali digits refer to article numbers.

Contents 1	Remarks 2	Practical 3	Demonstration 4
1. Measurment of length (১৬—২২, ২৫—৪৩), volume (৩৬—৩৭,—৫১), mass (২২খ, ৪৪—৪৮), weight (৯২—৯৩), time (২২গ, ৪৯). Measurement of angle (৩৩). Simple pendulum (৯৫—১০২).	Both f. p. s, and c. g. s systems are expected. Explanation of decimal measure : its usefulness (২৪).	The use of measuring cylinder. Measurement of length and time period of pendulum. Use of vernier (in class XI).	Use of beam balance and spring balance. Use of vernier (in class XI).
2. Density and specific gravity (১৫খ, ৫২, ৫৩, ১৪৮—১৫০). Measurement of density and specific gravity of solids [৫২, ৫৩, ১৫১ (ক, খ, গ)—গ (২, ৩) বাদ], liquids [১৫২ (১, ২, ৪—৬)].	Relative density to be explained (১৪৮). Density of a gas.	Density of bodies of regular and irregular shape.	

General Physics—(*Contd.*)

Contents 1	Remarks 2	Practical 3	Demonstration 4
3. Meaning of pressure (১১৪). Pressure and thrust (১১৪, ক). Pressure in liquids (১১৪, খ) Characteristics of fluid pressure (১১৫—১২১). Archimedes' Principle (১৩১—১৩৯). Pascal's law (১২৭). Floating bodies (১৪০—১৪৭).	Balancing column in *U*-tube [১২৩, ১৫২(৬)]. Effect of size of tube [১৫২(৬)]. Pressure at house taps (১২৫). Importance of vertical height (১১৮, ১২৬, ১৩০). Hydraulic press (১২৮—১২৯). Hydraulic garage lift (১৩০, খ). Floatation of ships and balloons (১৪৫). Hydrometers [১৪৭, ১৫২(৫)].		Pressure depends on 'head' of liquid (১১৫, ১১৮). Pressure independent of area [১১৮, ১২৭ (দ্বিতীয় পরীক্ষা ১২৮, ১৩০]. Pressure in liquids acts equally in all directions [১১৫ (খ), ১২১, ১২৭]. Transmission of fluid pressure (১২৭—১৩০). Submerged bodies [১৩৫—১৪১, ১৪৪, ১৪ (ঘ), ১৪৫(চ)]. Floating bodies (১৪০—১৪৭). Sinking bodies (১৪০).
4. Atmospheric pressure (১৫৩—১৫৮, ১৬০, ১৬১). The Barometers (১৫৯, ১৬২, ১৬৩, ১৬৪). Pressure in gases (১৬৬—১৬৯), (in class X).	The effect of moisture on atmospheric pressure (১৬৫). Weather maps (১৬৫, আবহাওয়া চার্ট). Pumps (১৭২—১৭৯). Siphon (১৮০—১৮১).	Reading the barometer (১৫৯, ক) (class XI).	Burette full of water inverted in a beaker of water; air admitted later [১৫৬(৭)]. Baromoter tubes, different lengths inverted over a mercury trough (১৫৮, ক). Balloon containing a little air under bell-jar connected to an exhaust pump [১৫৬ (৩)]. Magdeberg hemisphere [১৫৬(৬)].

Heat

Contents (1)	Remarks (2)	Practical (3)	Demonstration (4)
5. Temperature and its measurement (৩—৬. Thermometers (৭—১২). Expansion of solids (১৫—১৭, ২০, ২৩), liquids (২৫—২৭, ৩২—৩৩), and gases [৩৫—৪০, ৪২—৪৬(৪৭)]	Effects of heat (such as, bodies get hotter; melting; evaporation; chemical action; burning; destruction of life; light) to be mentioned (৫). Fahrenheit and centigrade scales and their conversion (১০—১১). Maximum and Minimum thermometers (১৪). The Clinical thermometer (১৪খ). Anomalous expansion of water (৩২—৩৪).	Determination of fixed points of a thermometer (৮, ১১, ১২)	Ball and ring experiment (১৫ক). Bimetallic strips (১৫খ, ২৩খ). Demonstrations of expansion of liquids and gases (২৯, ৩৬)
6. Measurement of quantity of heat (৪৯—৫৮, ৭১, ৯১); heat units (৪৯). Specific heat [৪৯ (৩), ৫১, ৫৭, ৫৮]. Thermal capacity and water-equivalent (৫৩, ৫৫).	Heat lost=heat gained (৫৪). Calculation of sp. heat from data of method of mixtures (৫৭, ৫৮).	Determination of sp. heat (solid) by method of mixiures (৫৬-৫৭).	
7. Melting (৬২—৭৩), evaportion; boiling (৭৪—৭৯, ৮৪—৯৩). Moisture in air (৮০—৮২,	Effect of pressure on melting point (৬৭) and boiling point (৮২, ৮৩, ৮৪, ৮৫,	Determination of melting point of	Weighted wire cuts through ice (৬৪.). Freezing points of salt water (৭২).

Light—(*Contd*).

Contents (1)	Remarks (2)	Practical (3)	Demonstration (4)
11. Refraction (৩৬—৬০): Snell's law (৩৭, ৪০) Total reflection (৫০, ৫০ক, ৫১, ৫২, ৫৮, ৫৯). Dispersion (৭৫, ৭৬). Composite nature of white light (৭৬).	Reference to the colours of the rainbow (৭৫). Newton's colour disc to be demonstrated (৭৯খ).	Verification of Snell's law (pin method [৪০ (২)]	Various experiments to demonstrate total internal reflection (৫০ক, ৫১). Recombination of colours by inverted prism (Hartle's disc) (৭৯).
12 Lens—graphical treatment only (৬১—৭৪).	Idea of focal length (৬৩), real image (magnified, reduced) and virtual image (৬৭—৭০).	f by u-v method (convergent lens only (৭৪).	

সূচীপত্র

সাধারণ পদার্থবিজ্ঞান

প্রথম পরিচ্ছেদ

সূচনা

দ্বিতীয় পরিচ্ছেদ

পদার্থের গঠন ও সাধারণ ধর্ম

তৃতীয় পরিচ্ছেদ

পরিমাপ বিজ্ঞান

চতুর্থ পরিচ্ছেদ

পরিমাপ প্রণালী ও কয়েকটি পরিমাপ যন্ত্র

পঞ্চম পরিচ্ছেদ

বল এবং বস্তুর স্থিতি ও গতি

ষষ্ঠ পরিচ্ছেদ

উদ্‌স্থিতিবিদ্যা

তরল পদার্থের চাপ

হইবে। ১১৭। যুক্ত পাত্রে তরল পদার্থ আপন উচ্চতা খুঁজিয়া লয়। ১১৮। জলের চাপ পাত্রের আকার বা আয়তনের উপর নির্ভর করে না, গভীরতার উপর নির্ভর করে। ১১৯। তরল পদার্থের ঊর্ধ্ব-চাপ। ১২০। তরল পদার্থের পার্শ্বচাপ। ১২১। তরলের পার্শ্বচাপ পাত্রের গাত্রের উপর উল্লম্বভাবে কাজ করে। ১২২। তরল পদার্থের সাম্যতার সর্ত। ১২৩। একটি U-টিউবের মধ্যে দুইটি তরল পদার্থের সাম্য। ১২৪। স্পিরিট লেভেল। ১২৫। মিউনিসিপ্যালিটির জল সরবরাহ ব্যবস্থা। ১২৬। আর্টেজীয় কূপ। ১২৭। তরল পদার্থের মধ্যে চাপের সঞ্চালন। ১২৮। বলবৃদ্ধিকরণ-নীতি। ১২৯। হাইড্রলিক প্রেস (বা ব্র্যামা-র প্রেস)। ১৩০। প্যাস্‌কেল-সূত্রের প্রয়োগের কয়েকটি দৃষ্টান্ত।

সপ্তম পরিচ্ছেদ

বস্তুর ভাসন
আর্কিমিডিসের সূত্র

১৩১। আর্কিমিডিসের সূত্র। ১৩২। আর্কিমিডিসের সূত্রের পরীক্ষা। ১৩৩। তরল পদার্থের প্লবতা। ১৩৪। প্লবতার মান। ১৩৫। আর্কিমিডিসের সূত্র গ্যাস সম্বন্ধেও প্রযোজ্য। ১৩৬। আর্কিমিডিস-সূত্রের সাধারণ সংজ্ঞা। ১৩৭। এক পাউণ্ড তূলা ও এক পাউণ্ড লোহা—ইহাদের মধ্যে কোন্‌টি বেশী ভারী? ১৩৮। তরল পদার্থের প্লবতা সম্বন্ধে কূট ঘটনার দুইটি উল্লেখযোগ্য দৃষ্টান্ত। ১৩৯। আর্কিমিডিস সূত্রের প্রয়োগ। ১৪০। কোন বস্তুর তরল পদার্থে নিমজ্জন ও ভাসন। ১৪১। ভাসমান বস্তুর সাম্যের সর্ত। ১৪২। ভাসমান বস্তুর ক্ষেত্রে স্থানচ্যুত তরল পদার্থের ভার বস্তুটির ভারের সমান হয় (পরীক্ষা)। ১৪৩। তরলে ভাসমান বস্তুর ভাসন-সাম্য। ১৪৪। তরলে ভাসন্ত বা নিমজ্জিত বস্তুর ঘনত্বের বিচার। ১৪৫। কয়েকটি ভাসমান বস্তুর দৃষ্টান্ত। ১৪৬। ভাসন-নীতির সাহায্যে কোন হাল্‌কা বস্তুর ঘনত্ব নির্ণয় করা। ১৪৭। সাধারণ বা বিভিন্ন-আয়তন-নিমজ্জনী হাইড্রোমিটার।

অষ্টম পরিচ্ছেদ

আপেক্ষিক গুরুত্ব

নবম পরিচ্ছেদ

বায়ুমণ্ডলের চাপ

দশম পরিচ্ছেদ

বায়ুর চাপের প্রয়োগ

বায়ু-পাম্প: জলপাম্প: সাইফন

তাপ-বিজ্ঞান (Heat)

প্রথম পরিচ্ছেদ

তাপ : উষ্ণতা : উষ্ণমিতি

দ্বিতীয় পরিচ্ছেদ

তাপ প্রয়োগে কঠিন পদার্থের প্রসারণ

তৃতীয় পরিচ্ছেদ

তরল পদার্থের তাপজনিত আয়তন বৃদ্ধি বা ঘন প্রসারণ

চতুর্থ পরিচ্ছেদ

গ্যাসীয় পদার্থের উষ্ণতা বৃদ্ধি জনিত আয়তন প্রসারণ বা ঘন প্রসারণ

পঞ্চম পরিচ্ছেদ

তাপ পরিমাপ : আপেক্ষিক তাপ : ক্যালরিমিতি

ষষ্ঠ পরিচ্ছেদ

নিম্ন অবস্থা-পরিবর্তন : গলন ও জমন (বা কঠিনীভবন) : গলনের গুপ্ত বা লীন তাপ

ষষ্ঠ পরিচ্ছেদ (পূর্বানুবৃত্তি)

উচ্চ অবস্থান্তর

সপ্তম পরিচ্ছেদ

বায়ুমণ্ডলে জলীয় বাষ্প : হাইগ্রোমিতি

অষ্টম পরিচ্ছেদ

তাপসঞ্চালনের বিভিন্ন পদ্ধতি

পরিবহন, পরিচলন ও বিকীরণ

আলোকবিজ্ঞান

প্রথম পরিচ্ছেদ

প্রারম্ভিক বিষয়াদি: আলোকের ঋজুরেখ গতি: ছায়া: ফটোমিতি

দ্বিতীয় পরিচ্ছেদ

সমতল পৃষ্ঠ হইতে আলোকের প্রতিফলন

তৃতীয় পরিচ্ছেদ

আলোকের প্রতিসরণ

চতুর্থ পরিচ্ছেদ

লেন্স

পঞ্চম পরিচ্ছেদ

প্রিজ্‌মদ্বারা মিশ্র আলোকের বিচ্ছুরণ : বিভিন্ন রং-এর আলোকের পুনর্মিশ্রণ

পদার্থবিজ্ঞানের গোড়ার কথা

পদার্থবিজ্ঞানের বিষয়বস্তু সম্বন্ধে বিশেষ জ্ঞান লাভ করিতে হইলে ইহার গোড়ার
কথাগুলির সহিত সম্যক্ পরিচয় থাকা দরকার। এই গ্রন্থের প্রথম
ও দ্বিতীয় খণ্ডে এই গোড়ার কথাগুলি আলোচনা করা হইয়াছে।
পদার্থবিজ্ঞান বিষয়টি যে কি তাহার সম্পূর্ণ ধারণা হওয়া
কেবলমাত্র বিষয়টি অধিগত হওয়ার পরই সম্ভব।
তবে একটা মোটামুটি ধারণা লইয়া অগ্রসর
হইতে পারিলে বিষয়বস্তুতে প্রবেশ
করা সহজ হয়। তাই এই সব
ধারণার প্রসঙ্গ দিয়া গ্রন্থখানি
আরম্ভ করা হইয়াছে।

প্রথম খণ্ড

(সাধারণ পদার্থবিজ্ঞান, তাপবিজ্ঞান ও আলোকবিজ্ঞান

সাধারণ পদার্থবিজ্ঞান (General Physics)

প্রথম পরিচ্ছেদ

সূচনা

১। পদার্থবিজ্ঞান কি? (What is Physics?) :—

চক্ষু, কর্ণ, নাসিকা, জিহ্বা, ত্বক—এই পাঁচটি ইন্দ্রিয়ের সাহায্যে মানুষ সকল অনুভূতি লাভ করে। চক্ষু দিয়া সে দেখে, নীল আকাশের একখণ্ড মেঘের সহিত অন্য আর এক খণ্ড মেঘের বর্ণের পার্থক্য নির্ণয় করে। কান দিয়া সে শোনে; শিশুর ক্রন্দন যে পাখীর কাকলী হইতে পৃথক তাহা বুঝিতে পারে। নাসিকার সাহায্যে ঘ্রাণ লইয়া সে বলিতে পারে যে, গোলাপ ফুটিয়াছে না আম পাকিয়াছে। জিহ্বা দ্বারা সে বুঝিতে পারে যে, কুইনাইন অত্যন্ত তিক্ত, কিন্তু মধু সত্যই মধুর। ত্বকের সাহায্যে সে উত্তাপ ও শৈত্য সম্বন্ধে ধারণা করিতে পারে।

এই সমস্ত ইন্দ্রিয়লব্ধ অভিজ্ঞতাকেই আমরা জ্ঞান বলি। যুগ যুগ ধরিয়া সঞ্চিত হইতে হইতে এই জ্ঞানের পরিধি আজ বহুদূর প্রসারিত। তবে জ্ঞান বলিতে যে বিস্তৃত অভিজ্ঞতাকে বোঝায়, 'বিজ্ঞান' কথাটি তাহা অপেক্ষা অনেক সংকীর্ণ অর্থে ব্যবহার করা হয়। এক বিশেষ ধরণের সুনিয়মিত ও সুবিন্যস্ত জ্ঞানকেই বিজ্ঞান বলা হয়।

বিশ্বপ্রকৃতিতে জড় ও চেতন এই দুই প্রকার বস্তু আছে। এই দুই বস্তুকে আমরা **পদার্থ** (matter) বলি। আর যাহা সর্বদা পদার্থের সহিত যুক্ত থাকিয়া ইহাদের ক্রিয়াকলাপকে নিয়ন্ত্রিত করে, তাহাই **শক্তি** (energy)। প্রভাতে সূর্যের কিরণ বৃক্ষের উপর পড়ে বলিয়া আমরা বৃক্ষটিকে দেখিতে পাই। সূর্য-কিরণরূপী শক্তি বৃক্ষরূপী বস্তুর উপর পতিত হইলে উহা হইতে কিছু অংশ আমাদের চোখে আসিয়া পড়ে, এবং আমরা বৃক্ষটিকে দেখিতে পাই।

পদার্থের সহিত সংশ্লিষ্ট না থাকিয়া শক্তি কাজ করিতে পারে না। এইজন্যই পদার্থকে শক্তির বাহন বলা হয়।

প্রাকৃতিক বিজ্ঞান (বিকল্প নাম, প্রাকৃতিক দর্শন)-এর শাখা দুইটি। একটিতে আছে প্রাণীবিজ্ঞান, উদ্ভিদ্‌বিজ্ঞান ইত্যাদি জীববিদ্যাগুলি (Biological sciences)। এই বিদ্যাসমূহে শক্তি ও চেতন পদার্থের বিষয় আলোচিত হয়। অন্য শাখাটিতে আছে পদার্থবিজ্ঞান ও রসায়নবিজ্ঞান, ইহাদের সাধারণ নাম হইল ভৌতবিজ্ঞান (Physical sciences)। ইহাদের আলোচ্য হইল শক্তি ও অচেতন পদার্থ।

পদার্থবিজ্ঞান ও রসায়নবিজ্ঞানের স্বতন্ত্র করিয়া সংজ্ঞা নির্ণয় করা ক্রমেই দুঃসাধ্য হইয়া উঠিতেছে। মোটামুটি পৃথক করা সম্ভব হইলেও এই দুই বিজ্ঞানকে কখনও পরস্পর হইতে সম্পূর্ণ বিচ্ছিন্ন করা যায় না। এই পৃথিবী জল, বায়ু, মাটি ইত্যাদি নানা বিচিত্র জড়পদার্থে পরিপূর্ণ। কিন্তু এই বস্তুবৈচিত্র্যের মধ্যেও একটি বিস্ময়কর সরলতা বিদ্যমান। পরীক্ষার দ্বারা স্থিরীকৃত হইয়াছে যে, বিশ্বে ৯২টি মৌলিক উপাদান, বা **মৌল** (element) আছে। এই মৌলগুলির এক বর্ণনা এই পুস্তকের পরিশিষ্ট ১-এ পাওয়া যাইবে। একই প্রকারের মৌল লইয়া মৌলিক পদার্থ গঠিত, দুই প্রকারের বা ততোধিক মৌলের রাসায়নিক সংযোগে যৌগিক পদার্থের (compound) সৃষ্টি। জড়পদার্থ মাত্রই হয় মৌলিক বা যৌগিক। পদার্থ **কঠিন** (solid), **তরল** (liquid), **গ্যাসীয়** (gaseous)—এই তিন অবস্থার যে-কোন এক অবস্থায় থাকিতে পারে। রসায়নশাস্ত্র প্রধানতঃ মৌলিক ও যৌগিক পদার্থের ধর্ম লইয়া আলোচনা করে, উহাদের সংযোজন বা বিযোজনে যে সকল পরিবর্তন দেখা দেয় তাহা বর্ণনা করে। পদার্থবিজ্ঞানের অনুসন্ধানের ক্ষেত্র অতি বিস্তৃত। জড়পদার্থের সহিত শক্তির বিক্রিয়ার সমগ্র বিষয়ই ইহার অন্তর্ভুক্ত।

২। পদার্থ ও শক্তি (Matter and energy) :—

পদার্থ—পদার্থ মৌলিক বা যৌগিক, কঠিন, তরল, বা গ্যাসীয় হইতে পারে, কিন্তু যে প্রকারেরই হউক না কেন, উহা কিছু জায়গা বা আয়তন জুড়িয়া থাকিবে এবং আমাদের অন্ততঃ একটি ইন্দ্রিয়ের নিকট ধরা পড়িবে। নির্দিষ্ট আয়তনের কোন পদার্থকে একটি বস্তু বলা হয়।

এবার পদার্থের ধর্ম সম্বন্ধে আলোচনা করা যাক্‌। তুলা, পশম, ইত্যাদি পদার্থের আয়তন চাপ দিয়া সহজেই কমান যায়। অপরপক্ষে, ইস্পাতের মত দ্রব্যের আয়তন চাপ দিয়া কমান তত সহজ নয়। কিন্তু বলের দ্বারা কোন বস্তুর আয়তনে বা আকৃতিতে পরিবর্তন ঘটান সত্ত্বেও উহাতে পদার্থের পরিমাণ অপরিবর্তিতই থাকে।

জড়পদার্থ আপনা হইতে কোন কাজ করিতে পারে না। ইহাকে **স্থিতির অবস্থায়** (at rest) রাখিলে ঐ অবস্থায়ই থাকিবে, আবার সরলরেখাপথে কোন

স্থির গতিবেগ (constant velocity) দিলে অনন্তকাল উহা ঐ পথেই চলিতে থাকিবে। বাহির হইতে কোন বল প্রযুক্ত না হইলে আপনা হইতে জড়পদার্থের বর্তমান অবস্থার কোন পরিবর্তন ঘটে না। সকল জড়পদার্থেরই ইহা ধর্ম। ইহাকেই জড়ের ধর্ম বা **জড়তা** (inertia) বলা হয়।

ভর (mass) ও **ভার** (weight)—কোন বস্তুর পদার্থের পরিমাণকে উহার ভর বলা হয়। আর ভার বা ওজন হইতেছে বস্তুটির উপর পৃথিবীর আকর্ষণ-বলের পরিমাণ। ভর পদার্থের একটি নিজস্ব মৌলিক ধর্ম। ভারকে কিন্তু সেরূপ বলা চলে না। একই বস্তুকে বিশ্বের বিভিন্ন স্থানে লইয়া গেলে উহার ভর বদলায় না, কিন্তু ভার বদলায়। বিষুবরেখা হইতে যে-কোন মেরুর দিকে সরাইয়া লইলে বস্তুমাত্রেরই ভার বাড়ে। আবার, কোন বস্তু পৃথিবী হইতে চন্দ্রে যাইবার পথে এমন এক বিন্দুতে পৌছাইবে যেখানে পৃথিবীর আকর্ষণ চন্দ্রের আকর্ষণ দ্বারা নাকচ হইবে ও বস্তুটি উহার সকল ভার হারাইয়া ফেলিবে। চন্দ্রে পৌছিলে উহার ভার হইবে পৃথিবীতে থাকাকালীন ভারের ছয় ভাগের একভাগ মাত্র। সুতরাং ভার কোন বস্তুর অপরিবর্তনীয় ধর্ম নহে, স্থানভেদে ইহার পরিমাণভেদ ঘটিয়া থাকে। কিন্তু মনে রাখিবার বিষয় এই যে, স্থানপরিবর্তনে বস্তুটির ভর অপরিবর্তিতই থাকে।

শক্তি (Energy)—বিশ্বময় শক্তি ছড়াইয়া আছে। কিন্তু পদার্থের উপর শক্তি ক্রিয়া না করিলে আমাদের কোন ইন্দ্রিয় উহার উপস্থিতি টের পায় না। পদার্থের উপর শক্তির ক্রিয়াকে পদার্থবিজ্ঞানে **কার্য** (work) বলা হয়। এখানে শক্তি (energy) হইল কারণ (cause) এবং কার্য (work) হইল উহার ক্রিয়ার ফল (effect)। শক্তি ব্যয় না করিয়া কোন কার্য করা যায় না। এইজন্য কোন বস্তুর শক্তি বলিতে আমরা উহার দ্বারা সম্ভব মোট কার্যের পরিমাণকে বুঝি।

কার্য নানা রকমের হইতে পারে। বিদ্যুৎশক্তি বিজলী পাখার সাহায্যে বায়ু সঞ্চালিত করিতে পারে, বিজলী বাতির মাধ্যমে আলো ছড়াইতে পারে, বিজলী ঘণ্টার (electric bell) দ্বারা বায়ুতে শব্দের তরঙ্গ তুলিতে পারে। বিদ্যুৎশক্তি বৈদ্যুতিক ক্রেনের কাঁচা লোহাকে (soft iron) শক্তিশালী চুম্বকে পরিণত করিয়া উহার সাহায্যে ভারী জিনিষ তুলিতে পারে।

মন্তব্য : পূর্বে পদার্থ ও শক্তিকে সম্পূর্ণ পৃথক করিয়া দেখা হইত। কিন্তু পদার্থ ও শক্তি প্রকৃতপক্ষে একই বাস্তবতার বিভিন্ন রূপমাত্র। শক্তি পদার্থে রূপান্তরিত হইতে পারে এবং পদার্থ হইতেও শক্তির সৃষ্টি হইতে পারে। আধুনিক

পদার্থবিজ্ঞান এইভাবে পুরাতন পদার্থবিজ্ঞানের ধারণাগুলি পরিবর্তিত করিতেছে। তবু পদার্থবিজ্ঞানের গোড়াকার কথাগুলি ভাল করিয়া বুঝিতে হইলে কতকগুলি পুরাতন সংজ্ঞা বা ধারণা লইয়া শুরু করাই ভাল। তাই পদার্থ ও শক্তি মূলতঃ এক হইলেও এখানে আমরা উহাদের স্বতন্ত্র করিয়াই দেখিব।

৩। শক্তির বিভিন্ন রূপ (Different forms of energy) :—

সকল শক্তি মূলতঃ এক হইলেও উহা বিভিন্ন রূপে প্রকাশ পাইতে পারে, যেমন—(১) যান্ত্রিক শক্তি (mechanical energy), (২) তাপশক্তি (heat energy), (৩) শব্দশক্তি (sound energy), (৪) আলোকশক্তি (light energy), (৫) চুম্বকশক্তি (magnetic energy), (৬) বিদ্যুৎশক্তি (electrical energy)।

৪। সূর্যই পৃথিবীর সকল শক্তির মূল উৎস (The Sun is the ultimate source of all energy of the earth) :—

সুদূর অতীতের কোন এক কালে একটি জ্বলন্ত বস্তুপিণ্ড সূর্য হইতে বিচ্ছিন্ন হইয়া তাহারই চারিদিকে ঘুরিতে থাকে। কালক্রমে ইহা শীতল হয় ও মাটি, জল, বায়ু ইত্যাদি দেখা দেয়। ইহাই পৃথিবীর জন্মকথা।* তাই বলা চলে যে, একদিন পৃথিবী সকল শক্তিই সূর্য হইতে পাইয়াছে। আবার সৃষ্টির শুরু হইতে আজ পর্যন্ত, সূর্য অবিরামভাবে তাপ, আলো ইত্যাদি আকারে পৃথিবীকে শক্তিদান করিতেছে। পৃথিবীর শক্তিলাভের অন্য কোন উৎস নাই।† অতএব পৃথিবীর সকল শক্তিই প্রধানতঃ সূর্যের দান।

চলমান নদী কোথা হইতে ইহার শক্তি পায়? সূর্যের তাপশক্তি সমুদ্র হইতে জলীয় বাষ্প উৎপন্ন করে। এই বাষ্প হইতে মেঘের জন্ম। মেঘ হইতে পর্বতশ্রেণীর তুষারকিরীট গঠিত হয়। সৌরকরতাপে এই তুষার গলিয়া পর্বতের ঢালু গা বাহিয়া জলস্রোত নামিয়া আসে। তাই দেখা যাইতেছে যে, চলমান নদীর স্রোতশক্তি এইভাবে সূর্য হইতেই আসে।

বাষ্পীয় ইঞ্জিন কোথা হইতে উহার শক্তি পায়? বয়লার (boiler) হইতে পাওয়া জলীয় বাষ্প হইতে। বয়লারের জল বাষ্প করিতে তাপশক্তির দরকার। এই শক্তি সে পায় কয়লার (বা অন্য কোন জ্বালানীর) দহন হইতে। এই কয়লা আবার গাছপালা

---

* পৃথিবীর সকল মৌলিক উপাদান সূর্যে আছে প্রমাণ পাওয়া গিয়াছে।

† তারকামণ্ডলী বা মহাশূন্য হইতেও পৃথিবী অল্প কিছু শক্তি পাইয়া থাকে।

হইতে উৎপন্ন হয়। গাছপালাগুলি মাটির নীচে যুগ যুগ ধরিয়া প্রোথিত থাকিয়া প্রচণ্ড তাপে ও চাপে নানা রাসায়নিক পরিবর্তনের মধ্য দিয়া ক্রমে কঠিন কয়লায় পরিণত হয়। গাছপালা মাটি ও বায়ু হইতে খাদ্য শোষণ করিয়া সৌরকিরণের সাহায্যে বাড়ে। অতএব ইঞ্জিনের শক্তিও প্রকৃতপক্ষে সূর্য হইতে আসে।

৫। সৌরশক্তির উৎস (Energy of the Sun):—

সূর্য তাহার শক্তি পায় কোথায়? সূর্যে এমন অবস্থা বর্তমান যাহার ফলে পদার্থ ধীরে ধীরে শক্তিতে রূপান্তরিত হয় ও চতুর্দিকে ছড়াইয়া পড়ে। আমরা সূর্যকিরণরূপে যেটুকু শক্তি পাই তাহা এই সমগ্র বিকীর্ণ শক্তির (radiations) এক ক্ষুদ্র অংশ মাত্র।

তিন কোটি মণ কয়লা পোড়াইলে (combustion) যে শক্তির উৎপত্তি হয়, মাত্র এক পাউণ্ড পদার্থ পুরাপুরি শক্তিতে পরিণত করিতে (conversion) পারিলে সেটুকু শক্তি পাওয়া যাইতে পারে। দুই শত পাউণ্ড ওজনের একটি পারমাণবিক বোমা বিস্ফোরিত হইলে যে ভয়াবহ ধ্বংসলীলা দেখা দেয়, তাহা উহার অন্তর্গত মাত্র এক গ্রাম পদার্থের তাপ, আলো ও কতকগুলি বিপজ্জনক রশ্মিতে পরিণত হওয়ার ফল। 'মুমূর্ষু সূর্য' (The Dying Sun)-শীর্ষক রচনায় স্যার জেমস্ জীনস্ হিসাব করিয়া দেখাইয়াছেন যে, শক্তি-বিকিরণের ফলে সূর্য প্রতি মিনিটে 25 কোটি টন ভর হারাইতেছে।

৬। শক্তির অবিনশ্বরতা : শক্তির সংরক্ষণ-সূত্র (Indestructibility of energy : The law of conservation of energy):—

প্রথম প্রথম বিজ্ঞানীরা এমন যন্ত্র তৈয়ারীর চেষ্টা করিয়াছিলেন যাহা স্বয়ংক্রিয়ায় শক্তি উৎপন্ন করিতে পারিবে। অর্থাৎ, তাঁহারা কোন শক্তি খরচ না করিয়াই শক্তি উৎপাদন করিতে চাহিতেছিলেন। এই সকল চেষ্টা ব্যর্থ হইয়াছে। আমাদের এখন দৃঢ় বিশ্বাস হইয়াছে যে, কোন প্রকারের শক্তি রূপান্তরিত হইলে তাহা সমপরিমাণে অন্য রূপে আত্মপ্রকাশ করে। আমরা কখনই কোন শক্তিকে একেবারে ধ্বংস করিতে পারি না বা শূন্যতা হইতে শক্তি সৃষ্টি করিতে পারি না। এককথায় বলিতে গেলে, বিশ্বের সামগ্রিক শক্তির পরিমাণের কোন হ্রাসবৃদ্ধি ঘটে না। এই নিত্যসত্যকেই শক্তির সংরক্ষণ-সূত্র নাম দেওয়া হইয়াছে। সূত্রটি হইতেছে এই—'শক্তির সৃষ্টিও নাই বিনাশও নাই, শক্তি কেবল এক রূপ হইতে এক বা একাধিক অন্য রূপে পরিবর্তিত হইতে পারে। বিশ্বের মোট শক্তির পরিমাণ ধ্রুব।'

৭। শক্তির রূপান্তর (Transformation of energy) :—

শক্তির বিভিন্ন রূপের কথা পূর্বে বলা হইয়াছে। ইহা যে-কোন রূপ হইতে অন্য যে-কোন রূপে পরিবর্তিত হইতে পারে। কিন্তু প্রতিক্ষেত্রেই এই রূপান্তর শক্তির সংরক্ষণ-সূত্র মানিয়া চলিবে, অর্থাৎ, পরিবর্তনের পূর্ববর্তী মোট শক্তির পরিমাণ পরিবর্তনের পর মোট শক্তির সমান হইবে।

বিজলী বাতিতে বিদ্যুতের শক্তি তাপশক্তি ও কিছু পরিমাণ আলোকশক্তিতে পরিণত হয়। একটি ধাতব গোলককে খুব উত্তপ্ত করিলে উহার তাপশক্তির কিছুটা আলোক-শক্তিতে পরিণত হইয়া সাদা আলো রূপে বিকীর্ণ হয়। হাতে হাত ঘষিলে পেশীর যান্ত্রিক শক্তি তাপশক্তিতে পরিবর্তিত হয়। ট্রামগাড়ীর ক্ষেত্রে বিদ্যুৎশক্তি যান্ত্রিক শক্তিতে পরিবর্তিত হয়, আবার বিদ্যুৎ-উৎপাদনকরী ডায়নামোতে (dynamo) উহার মূল চালকের (prime mover) যান্ত্রিক শক্তি বিদ্যুৎশক্তিতে রূপান্তরিত হয়।

৮। পদার্থবিজ্ঞানে পরীক্ষার স্থান (Experiment and the general maxim of the physical sciences) :—

বৈজ্ঞানিক পরীক্ষার ভিত্তিতে আছে একটি সর্বজনস্বীকৃত নীতি, যথা—একই কারণে (cause) সর্বদা একই কার্য (effect) ঘটিবে। ইহার অর্থ হইতেছে এই যে, যে অবস্থায় যে কারণে কোন কার্য ঘটে, সেই অবস্থায় সেই কারণে সেই কার্য সর্বদাই ঘটিবে। একই কারণের সমাবেশ ঘটাইয়া ফলটিকে যে পুনরায় ঘটান যায় (reproducibility), তাহা প্রমাণ করাই পদার্থবিজ্ঞানের একটি কাজ। অবশ্য, বিভিন্ন অবস্থায় বিভিন্ন কারণে ফলাফলেরও যে বিভিন্নতা দেখা দেয় তাহাও পরীক্ষা কার্যের একটি উদ্দেশ্য।

৯। পদার্থবিজ্ঞানের প্রধান প্রধান শাখা (The main branches of Physics) :—

পদার্থবিজ্ঞান সাধারণতঃ এই কয়ভাগে বিভক্ত : সাধারণ পদার্থবিজ্ঞান (General Physics), তাপবিজ্ঞান (Heat), শব্দবিজ্ঞান (Sound), আলোকবিজ্ঞান (Light), চুম্বকবিজ্ঞান (Magnetism), এবং বিদ্যুৎবিজ্ঞান (Electricity)।

সাধারণ পদার্থবিজ্ঞানে পদার্থের সাধারণ ধর্ম, শক্তির নানা ক্রিয়া ও যান্ত্রিক শক্তির বৈশিষ্ট্য বিশেষভাবে আলোচনা করা হয়। অন্য বিভাগগুলির এক-একটিতে এক এক রূপ শক্তির বিষয় আলোচনা করা হয়। পদার্থবিজ্ঞান সম্বন্ধে সুস্পষ্ট ধারণা করিতে হইলে সব শাখাকয়টি সম্বন্ধেই জ্ঞান অর্জন করা দরকার।

দ্বিতীয় পরিচ্ছেদ

পদার্থের গঠন ও সাধারণ ধর্ম (Constitution and General Properties of Matter)

১০। পদার্থের তিনটি অবস্থা (The three states of matter):—

পদার্থের তিনটি অবস্থা সম্ভব, যথা—কঠিন, তরল ও গ্যাসীয় অবস্থা। পদার্থের কণাগুলি কিভাবে পরস্পরের সহিত সংযুক্ত থাকে তাহার উপরই পদার্থের অবস্থা নির্ভর করে। এক অবস্থার কোন পদার্থের সহিত অন্য অবস্থার সেই একই পদার্থের গঠনগত প্রভেদ থাকিলেও কোন রাসায়নিক প্রভেদ নাই। বরফ, জল ও বাষ্প আসলে একই পদার্থের কঠিন, তরল ও গ্যাসীয় অবস্থা মাত্র, কণাগুলির সংযুক্তির পদ্ধতির (mode of aggregation) ব্যাপারে এই তিনটি অবস্থার মধ্যে পার্থক্য বিদ্যমান। কিন্তু ইহাদের মধ্যে কোন রাসায়নিক প্রভেদ নাই। একই পদার্থ হওয়া সত্ত্বেও গঠনগত পার্থক্যের জন্য বিভিন্ন অবস্থায় পদার্থের কিছু কিছু বিভিন্ন গুণও অবশ্য থাকে।

কঠিন অবস্থায় পদার্থের নিজস্ব আকার ও নির্দিষ্ট আয়তন থাকে। অবশ্য এই আয়তন ও আকারে পরিবর্তন আনা যায়। তরল পদার্থের নির্দিষ্ট আয়তন থাকে। উহার আয়তনে পরিবর্তন আনা অপেক্ষাকৃত বেশী কষ্টকর। কিন্তু তরল পদার্থের নির্দিষ্ট আকার বলিয়া কিছু নাই। কোন পাত্রে যে আয়তনের তরল পদার্থ রাখা হয়, পাত্রের সেই পরিমাণ আয়তন ভরিয়া তুলিয়া তরল পদার্থ তাহারই আকার লাভ করে। গ্যাসীয় পদার্থের কোন নির্দিষ্ট আয়তনও নাই, আকারও নাই। উহার আয়তনে পরিবর্তন আনা খুব সহজ। ছোট পাত্রে কোন গ্যাসীয় পদার্থ রাখা হইলে তাহা যেমন পাত্রটিকে ভরিয়া তুলিবে, তেমনি বড় পাত্রে সেই গ্যাসীয় পদার্থ রাখিলে তাহাকেও উহা ভরিয়া তুলিবে।

১১। অবস্থার পরিবর্তন (Change of state):—

তাপপ্রয়োগ দ্বারা কঠিনকে তরল ও তরলকে গ্যাসীয় পদার্থে (gas) পরিণত করা যায়। বিপরীত প্রক্রিয়ায়, গ্যাসীয় পদার্থ হইতে তাপ হরণ করিয়া তরল পদার্থ ও তরল পদার্থ হইতে তাপ হরণ করিয়া কঠিন পদার্থ পাওয়া যায়।

১২। অণু, পরমাণু ও পরমাণু হইতে ক্ষুদ্রতর কণা (Molecules, atoms and sub-atomic particles) :—

অণু (Molecule)—সকল পদার্থকেই বিভক্ত করা যায়। রুমালের কোণের এক ফোঁটা সেণ্ট বহুদিন ধরিয়া গন্ধ বিতরণ করে। সেণ্টের পদার্থ অদৃশ্যভাবে বহু সূক্ষ্ম কণায় বিভক্ত হইয়া যায় বলিয়া এরূপ সম্ভব হয়। কোন পদার্থকে ভাগ করিতে করিতে যখন এমন কণায় পৌছান যায় যে, আরও ভাগ করিলে ঐ পদার্থের নির্দিষ্ট রাসায়নিক গুণাগুণ অক্ষুণ্ণ থাকে না, তখন ঐ ক্ষুদ্র কণাকে ঐ পদার্থের অণু বলা হয়। অণু হইল কোন মৌলিক বা যৌগিক পদার্থের ক্ষুদ্রতম স্বাধীন কণা (freely existing particle)। অণু এত ছোট যে, কোন সাধারণ অণুবীক্ষণ যন্ত্র দিয়া তাহা দেখা যায় না। সামান্যমাত্র পদার্থও এক অবিশ্বাস্য সংখ্যক অণুর সমবায়। এক গ্রাম জলে $334{\cdot}6 \times 10^{20}$টি অণু আছে। একই পদার্থের অণুগুলি সব এক রকম, ভিন্ন ভিন্ন পদার্থের অণু ভিন্ন ভিন্ন রকম। যেমন, জলের সব অণুই একরকম, কিন্তু, জলের অণু কেরোসিনের অণু হইতে ভিন্ন। একটি অণু কতকগুলি পরমাণু দ্বারা গঠিত হয়। বিভিন্ন বস্তুর অণু বিভিন্ন, কারণ বিভিন্ন বস্তুর অণুতে পরমাণুগুলির প্রকৃতি, সংখ্যা ও সন্নিবেশ-ব্যবস্থা বিভিন্ন থাকে।

পরমাণু (Atom)—অণু পরমাণুর এক বিশেষ ধরণের সমবায়। পূর্বে বলা হইয়াছে যে, যে-সব পরমাণু দ্বারা অণু গঠিত, তাহাদের প্রকৃতি, সংখ্যা ও সন্নিবেশ-পদ্ধতি পৃথক বলিয়াই এক পদার্থের অণু অন্য পদার্থের অণু হইতে ভিন্ন হয়। কোন মৌলিক পদার্থের অণু একই রকমের এক বা ততোধিক পরমাণু দ্বারা গঠিত *। ৯২টি মৌলিক পদার্থের প্রত্যেকটির ভিন্ন রকমের পরমাণু আছে। মৌলিক পদার্থের অণু একই রকমের এক বা একাধিক পরমাণু লইয়া গঠিত, যৌগিক পদার্থের অণু বিভিন্ন রকমের পরমাণু দ্বারা গঠিত হয়। কোন যৌগিক পদার্থের অণুকে ভাগ করিলে উহার নিজস্ব রাসায়নিক ধর্ম বা বৈশিষ্ট্য নষ্ট হইয়া যায়। অণুর বিভাজনে যে পরমাণু পাওয়া যায় তাহা বেশীক্ষণ স্বতন্ত্রভাবে থাকিতে পারে না। অন্য পরমাণুর সহিত মিলিত হইয়া উহারা অণু গঠন করে, অণুর মধ্য দিয়াই পরমাণুর অস্তিত্বের সার্থকতা। হাইড্রোজেন পরমাণু সবচেয়ে

---

* হিলিয়াম, আর্গন, নিয়ন, পারা, ইত্যাদি কয়েকটি মৌলের অণু একটিমাত্র পরমাণু দ্বারা গঠিত। হাইড্রোজেন, অক্সিজেন, নাইট্রোজেন, ইত্যাদি মৌলের অণুতে দুইটি করিয়া পরমাণু আছে। যৌগিক পদার্থের অণুতে বহু (দুই, তিন, চার বা ততোধিক) পরমাণু আছে। জলের অণুতে দুইটি হাইড্রোজেন ও একটি অক্সিজেন—এই তিনটি পরমাণু আছে।

হাল্কা ও ইউরেনিয়াম পরমাণু সবচেয়ে ভারী। বিভিন্ন পরমাণুর ভর আলাদা বলিয়া তাহাদের ভারও আলাদা।

পরমাণু হইতেও ক্ষুদ্রতর কণা (Sub-atomic particles): **ইলেকট্রন, প্রোটন, নিউট্রন**—পূর্বে ধারণা ছিল এই যে, পরমাণুই পদার্থের ক্ষুদ্রতম কণা, উহার বিভাজন অসম্ভব। পরে পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণিত হইয়াছে যে, পরমাণুরও বিভাজন সম্ভব—ইহাও একটি যৌগিক কোষ। বিভিন্ন পরমাণু তিনটি বিভিন্ন মৌলিক কণার বিভিন্ন সমাবেশ দ্বারা সৃষ্টি। এই মৌলিক কণাগুলির নাম দেওয়া হইয়াছে—ইলেকট্রন, প্রোটন ও নিউট্রন। ইট দ্বারা যেমন বাড়ী তৈয়ারী করা হয়, এই মৌলিক কণাগুলি দিয়াও তেমনি পরমাণু গঠিত। ইটের সংখ্যা ও সাজানোর পদ্ধতিতে যেমন এক বাড়ী অন্য বাড়ী হইতে ভিন্ন হয়, এই মৌলিক কণাগুলির সংখ্যা ও সংগঠন-পদ্ধতিতে প্রভেদের দরুণ তেমনি এক পরমাণু হয় অন্য পরমাণু হইতে ভিন্ন। কণাগুলিকে মৌলিক কণা বলা হয় এইজন্য যে, ইহাদের আর বিভক্ত করা আজও সম্ভব হয় নাই। ইলেকট্রনের এক নির্দিষ্ট পরিমাণ ঋণ-বিদ্যুৎ (−ve electricity) আছে। প্রোটনের আছে সমপরিমাণ ধন-বিদ্যুৎ (+ve electricity)। নিউট্রনে কোন বিদ্যুৎ নাই। পদার্থের সর্বশেষ কণাগুলির সহিত বিদ্যুৎশক্তির এই অঙ্গাঙ্গী সম্পর্ক লক্ষ্য করিবার বিষয়।

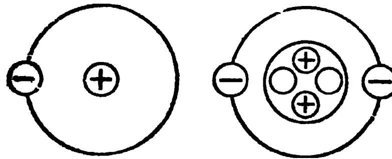
ইলেকট্রন—স্বাভাবিক অবস্থায় সকল মৌলের পরমাণুতেই ইলেকট্রন থাকে। আধুনিক পদার্থবিজ্ঞানে ইলেকট্রন সম্বন্ধে বিবিধ ধারণা প্রচলিত আছে। এক ধারণা হইল এই যে, ইহা কিছু ঋণ-বিদ্যুৎসমন্বিত একটি ভরকণা (mass-particle containing −ve charge) মাত্র। ইহা অপেক্ষা ক্ষুদ্রতর ভরের বা ক্ষুদ্রতর পরিমাণের বিদ্যুতের কোন স্বাধীন স্থায়ী অস্তিত্ব আজও আবিষ্কৃত হয় নাই। ইহার ভর হইল $9{\cdot}11 \times 10^{-28}$ গ্রাম ও ঋণ-বিদ্যুতের পরিমাণ হইল $4{\cdot}803 \times 10^{-10}$ e.s.u.।

প্রোটন—ইহা একটি মৌলিক কণা। একটি প্রোটন একটি ইলেকট্রনের প্রায় 1838 গুণ ভারী। ইহাতে যে ধনবিদ্যুৎ আছে তাহার পরিমাণ ইলেকট্রনের ঋণ-বিদ্যুতের সমান। পরমাণুতে ইলেকট্রন ও প্রোটনের সংখ্যা পরস্পরের সমান বলিয়া সমগ্রভাবে যে-কোন স্বাভাবিক পরমাণু বিদ্যুৎশক্তিবিহীন। সর্বাপেক্ষা লঘু পরমাণু হইল হাইড্রোজেন পরমাণু। ইহাতে একটি ইলেকট্রন ও একটি প্রোটন আছে। হাইড্রোজেন পরমাণু একটি ইলেকট্রন হারাইলে হাইড্রোজেন আয়ন বা প্রোটোনে পরিণত হয়। প্রোটন সকল পরমাণুতেই বর্তমান।

নিউট্রন—ইহা একটি মৌলিক কণা। ইহার ভর প্রোটনের ভর হইতে সামান্য বেশী। ইহা বিদ্যুৎশূন্য। হাইড্রোজেন পরমাণু ভিন্ন অন্য সকল পরমাণুতেই নিউট্রন আছে।

১৩। পরমাণুর গঠন (The atomic structure) :—

রাদারফোর্ড (Rutherford) ও বোর (Bohr) সর্বপ্রথম পরমাণুর গঠনের এক সার্থক ছক উপস্থিত করেন।* এই ছকে পরমাণুকে গোলকাকার ধরা হয়। ইহার কেন্দ্রে একটি সংহত ভর আছে। ইংরাজীতে এই কেন্দ্রকে নিউক্লিয়াস (nucleus) বলা হয়। নিউক্লিয়াস প্রোটন ও নিউট্রন দ্বারা গঠিত এবং ধনবিদ্যুৎসম্পন্ন। ইহা ছাড়া, পরমাণুতে আছে একটি লঘু বহিরাংশ (shell)। এই বহিরাংশে আছে কতকগুলি ইলেকট্রন। ইহারা চতুর্দিকে নির্দিষ্ট কক্ষপথে ঘুরিতেছে। বাহিরের ইলেকট্রনের সংখ্যা নিউক্লিয়াসের প্রোটনের সংখ্যার সমান বলিয়া সমগ্র পরমাণুর কোন বিদ্যুৎ নাই। ইলেকট্রন, প্রোটন ও নিউট্রনের সংখ্যা এক এক মৌলের পরমাণুতে এক এক রকম। হাইড্রোজেনের পরমাণু সর্বাপেক্ষা সরল। চিত্র ১(ক)-তে হাইড্রোজেন পরমাণুর ছক দেখান হইয়াছে। হইড্রোজেনের নিউক্লিয়াসে আছে একটি প্রোটন। বহিরাংশে একটি



(ক) হাইড্রোজেন পরমাণু (খ) হিলিয়াম পরমাণু

চিত্র ১

ইলেকট্রন ঘুরিতেছে। ইহাতে কোন নিউট্রন নাই। চিত্রের (খ)-তে হিলিয়াম পরমাণুর ছক দেখান হইয়াছে। ইহাতে আছে দুইটি ইলেকট্রন, দুইটি প্রোটন ও দুইটি নিউট্রন। অক্সিজেন পরমাণুতে প্রোটনের সংখ্যা 8 ও ইউরেনিয়ামের 92।

পারমাণবিক সংখ্যা (Atomic number)—কোন পরমাণুর রাসায়নিক গুণাগুণ উহার নিউক্লিয়াসের ধনবিদ্যুতের পরিমাণ বা প্রোটনসংখ্যা দ্বারা নির্ণীত

* পরমাণু হইতেও ক্ষুদ্রতর মৌলিক কণাগুলির তরঙ্গধর্মের জন্য উহাদের পদার্থধর্মের ভিত্তিতে প্রস্তুত চিত্রের সার্থকতা আছে কি? হ্যাঁ, তরঙ্গধর্ম পদার্থকে ভিত্তি করিয়া উদ্ভূত বলিয়া এইরূপ পুরাতন চিত্র এখনও আলোচনা করিবার প্রয়োজন আছে।

হয়। গুণাগুণ-নির্ণয়কারী এই সংখ্যাকেই পারমাণবিক সংখ্যা বলে। নিউক্লিয়াসের চতুর্দিকের ইলেকট্রনগুলির মোট ঋণবিদ্যুতের পরিমাণ নিউক্লিয়াসের অন্তর্গত প্রোটনের ধনবিদ্যুতের সমান বলিয়া নিউক্লিয়াসের চতুর্দিকের ইলেকট্রনের সংখ্যা পারমাণবিক সংখ্যার সমান। প্রত্যেকটি মৌল-পরমাণু বিভিন্ন পারমাণবিক সংখ্যা দ্বারা নির্দিষ্ট। হাইড্রোজেন হইতে ইউরেনিয়াম পর্যন্ত (পরিশিষ্ট-১ দ্রষ্টব্য) এই পারমাণবিক সংখ্যা এক এক করিয়া 1 হইতে 92 পর্যন্ত বাড়িয়াছে। পূর্বে ধারণা ছিল যে, পারমাণবিক ভারই মৌলের গুণাগুণ নির্ণয় করে। মোজ্‌লে (Moseley) প্রমাণ করিয়াছেন যে, গুণাগুণ-নির্ণয়কারীটি হইতেছে মৌলের পারমাণবিক সংখ্যা, পারমাণবিক ভার নহে।

১৪। পদার্থের গঠন (Constitution of material bodies) :—

পদার্থ বহু অণুর সমবায়ে গঠিত। কঠিন পদার্থে অণুগুলি ঘনভাবে সংবদ্ধ থাকে, তরল পদার্থে থাকে আরও একটু শিথিল ভাবে, গ্যাসীয় পদার্থে থাকে ছাড়া ছাড়া ভাবে। নির্দিষ্ট আয়তনের মধ্যে পদার্থের অণুগুলি পরস্পরের সহিত কিভাবে সংবদ্ধ আছে তাহা দ্বারাই ঐ পদার্থের বর্তমান অবস্থা নির্ণীত হয়।

পদার্থের প্রতি অণু অন্য অণুকে আকর্ষণ করিয়া নিকটে রাখে আবার বিকর্ষণ করিয়া নির্দিষ্ট দূরত্বে থাকিতে বাধ্য করে। এই পারস্পরিক আকর্ষণ ও বিকর্ষণকে **আন্তঃ-আণবিক বল** (intermolecular force) বলে। এই বল অণুর চতুর্দিকস্থ একটি সামান্য সীমার মধ্যেই মাত্র কার্যকরী হয়, উহার বাহিরে বলটির ক্রিয়া একেবারেই নগণ্য। এই বলক্ষেত্রকে অণুর প্রভাব-বলয় (sphere of action) বলে।

গ্যাসীয় পদার্থ—কোন গ্যাসপূর্ণ পাত্রে আসলে আছে ঐ গ্যাসের স্বতন্ত্র ও স্বাধীন-চারী কতকগুলি অণু। এই অণুগুলির পরস্পরের মধ্যের গড় দূরত্বকে **গড় মুক্তপথ** (**mean free path**) বলা হয়। অণুর ব্যাসের তুলনায় এই গড় মুক্তপথের দৈর্ঘ্য খুব বেশী। যে-কোন গ্যাসে অণুগুলির পারস্পরিক আকর্ষণ-বিকর্ষণের বল খুব কম বলিয়া (পারস্পরিক দূরত্ব খুব বেশী এইজন্য) ঐরূপ পদার্থ নিজের কোন আকার বা আয়তন রক্ষা করিতে পারে না। গ্যাসের উষ্ণতা বাড়িলে গড় মুক্তপথের দৈর্ঘ্য বাড়ে। এইজন্যই উত্তাপ দিলে গ্যাসের আয়তন বাড়ে। গ্যাসের অণু কখনই স্থির থাকে না। **চলশক্তিই** (kinetic energy) অণুগুলির শক্তি। এইজন্য গ্যাসীয় পদার্থের সদা-অস্থিরতা সংক্রান্ত উপরোক্ত মতকে 'গ্যাসীয় পদার্থের চলশক্তিতত্ত্ব' (**kinetic theory of gases**) বলা হয়। উষ্ণতা বাড়িলে অণুর গতিবেগ বাড়ে, উষ্ণতা কমিলে

উহা কমে। চলিতে চলিতে অণুগুলি পরস্পরের সহিত অথবা পাত্রের গাত্রের সহিত সংঘর্ষে আসে, ফলে ইহাদের গতির দিক্ বদলাইয়া যায়। অবিরাম সংঘর্ষের ফলে অণুগুলির গতিতে কোন শৃঙ্খলা থাকে না। কোন একটি অণুর গতির দিক্'সম্বন্ধে নির্দিষ্ট করিয়া কিছু বলা চলে না, ইহার যে-কোন দিকে যে-কোন গতিই সম্ভব। গ্যাসীয় পদার্থে সদা বর্তমান এই অস্থির গতিকে **ব্রাউনীয় গতি** (Brownian Motion) বলা হয়।

কঠিন ও তরল পদার্থ—কঠিন পদার্থের অণুগুলি স্থানবদ্ধ, ইহাদের গতির স্বাধীনতা নাই, কেবল মাত্র নিজ নিজ নির্দিষ্ট স্থানে থাকিয়া ইতস্ততঃ সামান্য স্পন্দিত হইতে পারে। উষ্ণতা বাড়িলে স্পন্দনের মাত্রা বাড়ে। অণুগুলির স্থান ও পারস্পরিক দূরত্ব নির্দিষ্ট ও প্রায় অপরিবর্তনীয়। ইহাদের ক্ষেত্রে আন্তঃআণবিক বল প্রচণ্ড বলিয়া ইহাদের স্থান বদলান সহজসাধ্য নয়। এই কারণেই কঠিন পদার্থের নির্দিষ্ট আকার ও আয়তন থাকে।

তরল অবস্থায়ও আন্তঃআণবিক বলের পরিমাণ যথেষ্ট বেশী থাকে বলিয়া তরল পদার্থ একটা নির্দিষ্ট আয়তন রক্ষা করিতে পারে, কিন্তু ঐ বল আকার রক্ষার পক্ষে যথেষ্ট নয়। তরল পদার্থের অণু কোন নির্দিষ্ট স্থানে স্থির হইয়া থাকে না। ইহাদের পথচলার চলনশক্তি আছে। তাই অণুগুলি একস্থান হইতে অন্য স্থানে যাইতে পারে। ফলে, তরল পদার্থ সহজেই পাত্রের আকার গ্রহণ করিতে পারে।

মন্তব্য : অণুকে ভিত্তি করিয়া পদার্থের যে গঠনের কথা বলা হইল, গ্যাসীয় বা তরল পদার্থের ক্ষেত্রে তাহা অনেকটা ঠিক। কঠিন পদার্থের ক্ষেত্রে কিছু কিছু ব্যতিক্রম দেখা যায়।

১৫। জড় পদার্থের সাধারণ ধর্ম (General properties of inanimate matter) :—

কঠিন, তরল এবং গ্যাসীয় সকল অবস্থাধীন পদার্থেরই কতগুলি সাধারণ ধর্ম আছে। আবার অবস্থা অনুযায়ী উহাদের নিজ নিজ বিশেষ ধর্মও থাকে। সাধারণ ধর্মগুলি নিম্নপ্রকারের—

(ক) **জড়তা** (Inertia)—জড় পদার্থের কোন নিজস্ব উদ্যোগ (initiative) নাই। জড় পদার্থ আপনা হইতে নিজের বর্তমান অবস্থা পরিবর্তন করিতে পারে না—সেই অবস্থা, স্থিত-অবস্থা, নির্দিষ্ট আকারগ্রস্ত অবস্থা, বা সরলরেখায় চলমান অবস্থা,

তাহা যাহাই হউক না কেন। এই ধর্মেরই নাম জড়তা। সাধারণতঃ বস্তুর ভরের দ্বারাই উহার জড়তা মাপা হয়।

(খ) **মহাকর্ষ** (Gravitation)—বিশ্বের যে-কোন পদার্থের কণা মাত্রই অন্যান্য সকল কণাকে নিজের দিকে আকর্ষণ করে। যে-কোন দুইটি কণার পারস্পরিক আকর্ষণ-বল কণাদুইটির ভরের গুণফলের সমানুপাতিক (proportional) ও আন্তঃ-দূরত্বের বর্গফলের ব্যস্তানুপাতিক (inversely proportional to the square of the distance apart) হয়। বোঁটা হইতে বিচ্ছিন্ন ফলটি পৃথিবীর আকর্ষণেই মাটিতে পড়ে। সমুদ্র ও চন্দ্রের পারস্পরিক আকর্ষণই জোয়ার-ভাঁটার কারণ। আবার পারস্পরিক আকর্ষণই পৃথিবীকে সূর্য-পরিক্রমায় বাধ্য করে। এই সমস্তই মহাকর্ষের উদাহরণ।

(গ) **সংশক্তি** (Cohesion) ও **আসঞ্জন** (Adhesion)—পদার্থের আন্তঃ-আণবিক বলই উহার গঠনশক্তি। অণুগুলি যখন একই প্রকারের থাকে তখন ঐ গঠন-শক্তিকে উহাদের সংশক্তি বলা হয়। কঠিন পদার্থের সংশক্তি-বল খুব বেশী বলিয়া এইরূপ পদার্থ বিভক্ত করা কষ্টসাধ্য। তরল পদার্থে সংশক্তি-বল অনেক কম, গ্যাসীয় পদার্থে উহা একেবারেই নগণ্য।

আসঞ্জন সংশক্তির মতই আন্তঃ-আণবিক বল বটে, কিন্তু সংশক্তি দ্বারা একই পদার্থের অন্তর্গত আণবিক বলকে বুঝায়; বিভিন্ন পদার্থের অণুর মধ্যে সঞ্জাত আণবিক বলকে উহাদের আসঞ্জন বলে। আসঞ্জন-বলের ক্রিয়ায় আঁঠা কাগজে সাঁটিয়া থাকে। ঝালাই প্রবল আসঞ্জনের একটি উদাহরণ। যে ধাতুকণাগুলি দিয়া ঝালাই করা হয়, উহারা ঝালাই-করা অংশগুলিকে শক্ত করিয়া ধরিয়া রাখে।

(ঘ) **অভেদ্যতা** (Impenetrability)—দুইটি বস্তু একই সময়ে একই স্থান অধিকার করিয়া থাকিতে পারে না। এই ধর্মটিকে বস্তুর অভেদ্যতা বলা হয়। একটি ধাতব গোলক জলে ফেলিলে গোলকটি জল সরাইয়া আপন স্থান করিয়া লয়। বালুতে ছিটানো জল প্রকৃতপক্ষে বালুর ভিতরে প্রবেশ করে না, বালুকণাগুলির মধ্যের ফাঁক পূরণ করে মাত্র।

(ঙ) **বিস্তৃতি** (Extension)—এই ধর্ম হইল এই যে, বস্তুমাত্রই কিছু স্থান জুড়িয়া থাকে। ঐ অধিকৃত স্থানই বস্তুর আয়তন। চাপ, উষ্ণতা ইত্যাদি জাতীয় ভৌত কারণে কোন বস্তুর আয়তন বদলাইতে পারে, কিন্তু কখনই একেবারে শূন্যে পরিণত হয় না।

(চ) **বিভাজ্যতা** (Divisibility)—পদার্থকে ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কণায় ভাগ করা যায়। হাতুড়ি মারিয়া, করাত দিয়া কাটিয়া, ঘষিয়া এবং আরও নানা উপায়ে পদার্থকে মিহি চূর্ণে পরিণত করা যায়। এত করা সত্ত্বেও দানাগুলি অণু অপেক্ষা অনেক বড় থাকে। কঠিন পদার্থ জলে গুলিলে দানাগুলি আরও ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র হইয়া যায়। সাধারণ দ্রবণ অপেক্ষা কলয়ড্যাল ('colloidal) দ্রবণে দানাগুলি অপেক্ষাকৃত বড় থাকে। দীর্ঘ সময় ধরিয়া সুগন্ধ বিতরণ করিয়াও গোলাপের ভর কমে বলিয়া বোঝা যায় না ; একটুখানি অগুরু দীর্ঘকাল ধরিয়া সুগন্ধ ছড়ায়। এইভাবে প্রাকৃতিক জগতে কত না পদার্থ আমাদের গোচরে বা অগোচরে স্বতঃই বিভক্ত হইতেছে।

(ছ) **সচ্ছিদ্রতা** (Porosity) **ও সঙ্কোচনশীলতা** (Compressibility)—

পদার্থের মধ্যে ছিদ্র থাকাকে উহার সচ্ছিদ্রতার ধর্ম বলে। অপেক্ষাকৃত বৃহৎ ছিদ্রগুলিতে আন্তঃ-আণবিক বল কাজ করে না। কাঠ, চক, বালি, স্পঞ্জ, মাটির পাত্র, চামড়া, ছাঁকনি কাগজ, ইত্যাদির মধ্যে এইরূপ বহু স্থূল ছিদ্র আছে। একটুকরা চক জলে ফেলিলে স্থূল ছিদ্রগুলির বায়ু জল দ্বারা তাড়িত হইয়া বুদ্বুদ আকারে উপরে উঠিয়া আসে। এই বড় বড় ছিদ্রগুলি ছাড়াও পদার্থের মধ্যে খুব ছোট ছোট আরও ছিদ্র থাকে। এই সূক্ষ্ম ছিদ্রে আন্তঃ-আণবিক বল কাজ করে। কঠিন পদার্থে সূক্ষ্ম ও স্থূল উভয় প্রকার ছিদ্রই থাকে। তরল পদার্থের ছিদ্রগুলি সবই সূক্ষ্ম। সূক্ষ্ম ছিদ্রগুলি খালি চোখে দেখা যায় না। কিছু লবণ একগ্লাস জলে গুলিলে লবণের সূক্ষ্ম কণাগুলি জলের সূক্ষ্ম ছিদ্রে প্রবেশ করে। তাই ইহাতে জলের আয়তন বাড়ে না। উষ্ণতা বাড়িলে আন্তঃ-আণবিক দূরত্ব বাড়িয়া যায় বলিয়া আরও লবণ গোলা যায়। ঠাণ্ডা করিলে ছিদ্রগুলি সঙ্কুচিত হয় এবং কিছু লবণ বাহির করিয়া দেয়। এই বিতাড়িত লবণ পাত্রের তলায় পড়ে। গ্যাসীয় পদার্থে আন্তঃআণবিক ছিদ্রগুলি কঠিন ও তরল পদার্থের তুলনায় অনেক বড় থাকে। তাই বিভিন্ন গ্যাসীয় পদার্থ মিশাইলে মোট আয়তন কিছু বাড়ে না ; বায়বীয় পদার্থকে চাপ দিলে উহার আয়তন সহজেই কমিয়া যায়। অপেক্ষাকৃত বৃহৎ ছিদ্র না থাকিলে এরূপ সম্ভব হইত না।

কোন বস্তুকে চাপ দিলে উহার আয়তন কমে। এই ধর্মকে বস্তুর সঙ্কোচনশীলতা বলা হয়। পদার্থে ছিদ্র থাকার ফলে এরূপ ঘটে। গ্যাসীয় পদার্থ সর্বাপেক্ষা সঙ্কোচনশীল ; তরল পদার্থ কিছুটা সঙ্কুচিত হইতে পারে। এক এক প্রকার কঠিন পদার্থের সঙ্কোচনশীলতা এক এক রকমের। রবার খুবই সঙ্কোচনশীল। কিন্তু হীরা মোটেই সঙ্কোচনশীল নয়।

(ঞ) **স্থিতিস্থাপকতা** (Elasticity)—বাহির হইতে প্রযুক্ত বল দ্বারা কোন বস্তুর আকারে, আয়তনে বা ঐ উভয় প্রকারেই পরিবর্তন আনিতে গেলে, বস্তুর আভ্যন্তরিক যে ধর্ম ঐ প্রযুক্ত বলকে প্রতিরোধ করে তাহাকে বস্তুটির স্থিতিস্থাপকতা বলে। প্রযুক্ত বলের দ্বারা বস্তুর আকারে এবং আয়তনে যে পরিবর্তন ঘটে, তাহা যদি নির্দিষ্ট সীমা ছাড়াইয়া না যায়, তবে স্থিতিস্থাপকতার গুণে প্রযুক্ত বল প্রত্যাহৃত হওয়ার সঙ্গে সঙ্গে বস্তুটি পূর্বের আকার এবং আয়তন ফিরিয়া পায়।

(ঝ) **ঘনত্ব** (Density)—কোন বস্তুর পদার্থের পরিমাণকে উহার ভর ও উহা যে স্থান জুড়িয়া থাকে তাহাকে উহার আয়তন বলে। বস্তু যে অবস্থায়ই থাকুক না কেন, উহার প্রতি একক আয়তনের একটা নির্দিষ্ট ভর থাকে। উহার প্রতি একক আয়তনের ভরকে উহার ঘনত্ব বলে। ঘনত্ব সকল প্রকার পদার্থের এক সার্বজনীন ধর্ম।

তৃতীয় পরিচ্ছেদ

পরিমাপ বিজ্ঞান (Mensuration)

১৬। একক ও প্রাথমিক মানক (Units and Primary Standards) :—

পদার্থবিজ্ঞানকে একটি সঠিক বিজ্ঞান (exact science) বলা হয়। ইহার সিদ্ধান্তগুলি নিখুঁত মাপজোকের উপর প্রতিষ্ঠিত বলিয়া ইহাকে এইরূপ বলা হয়। এই কারণে পদার্থ-বিজ্ঞানকে পরিমাপ-বিজ্ঞান আখ্যা দেওয়া চলে।

কোন ভৌত বিষয়ের (physical quantity) পরিমাপ লইতে হইলে ইহার কিছু অংশকে একক ধরিয়া লইতে হয়। তখন সমগ্র পরিমাণকে ঐ এককের সাহায্যে প্রকাশ করা যায়। যদি বলি যে, অমুক বালকটি পাঁচ ফুট লম্বা, তবে বুঝিতে হইবে যে, ফুটকে আমরা একক ধরিয়াছি ও মাপিয়া দেখিয়াছি যে, বালকটি উচ্চতায় ঐ ফুট-এককের পাঁচগুণের সমান।

একক প্রসঙ্গে কয়েকটি কথা বিশেষভাবে স্মরণীয়—

(ক) যে-কোন ভৌত বিষয়ের, যথা—দৈর্ঘ্য, আয়তন, বল, কার্য, উষ্ণতা, বিদ্যুৎ-প্রবাহ, ইত্যাদি ইত্যাদি প্রত্যেকের জন্য স্বতন্ত্র স্বতন্ত্র একক দরকার। অর্থাৎ, ভৌত বিষয় যত প্রকারের হইবে এককও তত প্রকারের হইবে।

(খ) কোন একককে সর্বজনগ্রাহ্য করিতে হইলে উহার সমমানের কোন প্রামাণ্য নমুনা তৈয়ারী করিয়া নির্দিষ্ট অবস্থায় উহাকে রাখা আবশ্যক। তবেই উহা আন্তর্জাতিক

প্রাথমিক মানক হিসাবে স্বীকৃতিযোগ্য হইবে। সর্বদা ব্যবহারযোগ্য এককটি প্রয়োজনবোধে অবশ্য এই প্রাথমিক মানকের কয়েকগুণ বেশী বা কম হইতে পারে।

(খ) যতগুলি একক আছে ততগুলি প্রাথমিক মানকের প্রয়োজন নাই। কারণ, বহু এককই অন্যান্য একক হইতে উৎপন্ন ও উহাদের সহিত এমনভাবে সম্পর্কান্বিত যে, উহাদের জন্য আর ভিন্ন মানকের দরকার নাই।

ভারত সহ পৃথিবীর সকল সভ্যজাতি এক চুক্তি করিয়া একক ও প্রাথমিক মানক সংক্রান্ত সকল ক্ষমতা 'ওজন ও মাপের আন্তর্জাতিক কমিটি' (The Committe International des poids et Mesures) নামে এক কমিটির হাতে তুলিয়া দিয়াছে। এই কমিটির প্যারী সহরের নিকটে সেভ্রেতে এক মানকসংস্থা আছে।

১৭। মৌলিক ও লব্ধ একক (Fundamental and Derived units):—

দৈর্ঘ্য, ভর ও সময়ের একক হইতে সমুদয় ভৌত বিষয়াদির একক গড়িয়া তোলা যায়। এই তিনটি একক একেবারে স্বাধীন, একে অন্যের উপর নির্ভর করে না। এই জন্যই ইহাদের মৌলিক একক বলা হয়। অন্য সব বিষয়ের একককে এই মূল এককগুলি হইতে লব্ধ বলা যাইতে পারে, কারণ ইহারা এক বা একাধিক মৌলিক এককের দ্বারা গঠিত।

এবার লব্ধ একক কিভাবে গঠিত হয় তাহা আলোচনা করা যাক। একক-দৈর্ঘ্যের বাহু দ্বারা একটি বর্গক্ষেত্র আঁকা হইলে উহার ক্ষেত্রফল একবর্গ একক (unit area) হইবে। আবার, একক দৈর্ঘ্যের বাহুবিশিষ্ট একটি ঘনক কল্পনা করিলে, উহার আয়তন এক ঘন একক হইবে। অতএব ক্ষেত্রফলের একক বা ঘন আয়তনের একক দৈর্ঘ্যের মূল একক হইতে উৎপন্ন দুইটি লব্ধ একক মাত্র। এইভাবে বল, গতিবেগ, কার্য, ইত্যাদি সকল বিষয়ের এককই উপরি-উক্ত তিনটি মৌলিক এককের সাহায্যে পাওয়া যায়। এমনকি চুম্বক, বিদ্যুৎ, তাপ, আলোক, শব্দ প্রভৃতি সমুদয় অযান্ত্রিক বিষয়-সংক্রান্ত নানাবিধ এককও ঐ তিনটি একক হইতে উৎপন্ন করা যাইতে পারে। এইজন্যই দৈর্ঘ্য, ভর ও সময়ের একক তিনটি মূল এককরূপে গৃহীত হইয়াছে।

১৮। মূল এককের বিভিন্ন পদ্ধতি (Systems of Fundamental Units):—

এখানে-ওখানে স্থানীয়ভাবে মাপের যে পদ্ধতিই প্রচলিত থাকুক না কেন, বিজ্ঞানজগতে 'ভার ও মাপের আন্তর্জাতিক কমিটি' কর্তৃক গৃহীত সেন্টিমিটার-গ্রাম-সেকেণ্ড (C.G.S.) পদ্ধতিই সমগ্র বিশ্বের অধিকাংশ ক্ষেত্রে বৈজ্ঞানিক পরিমাপের কাজে ব্যবহৃত হয়।

ফরাসী দেশে এই পদ্ধতির জন্ম বলিয়া ইহাকে ফরাসী পদ্ধতিও বলা হয়। আবার, এই পদ্ধতিতে মিটার দৈর্ঘ্যের মানক বলিয়া ইহাকে মেট্রিক পদ্ধতিও বলে।

ফুট-পাউণ্ড-সেকেণ্ড (F.P.S) পদ্ধতি নামে একটি বৃটিশ পদ্ধতি আছে। ইংরাজী ভাষাভাষী দেশে, বিশেষতঃ শিল্প ও ব্যবসা-বাণিজ্যের ক্ষেত্রে, এই পদ্ধতি অনেক সময় অনুসরণ করা হয়।

১৯। মূল এককের দুই বিশিষ্ট পদ্ধতি (The Two Important Systems of Fundamental Units):—

(ক) সি.জি.এস্. (মেট্রিক বা ফরাসী) পদ্ধতি—এই পদ্ধতিতে দৈর্ঘ্যকে সেণ্টিমিটার দিয়া, ভরকে গ্রাম দিয়া ও সময়কে সেকেণ্ড দিয়া প্রকাশ করা হয়। (সেণ্টিমিটারের সি., গ্রামের জি. ও সেকেণ্ডের এস্.)। ভারত গভর্ণমেণ্ট স্থির করিয়াছেন যে, সমুদয় কার্যে এই পদ্ধতির একক এদেশে ব্যবহৃত হইবে।

(খ) এফ্.পি.এস্. (বা বৃটিশ) পদ্ধতি.—এই পদ্ধতিতে দৈর্ঘ্যকে ফুট, ভরকে পাউণ্ড ও সময়কে সেকেণ্ড দিয়া প্রকাশ করা হয় (ফুটের এফ্., পাউণ্ডের পি., ও সেকেণ্ডের এস্.)।

লক্ষ্য করিবার বিষয় এই যে, সময়ের একক হিসাবে সেকেণ্ডকে উভয় পদ্ধতিতেই গ্রহণ করা হইয়াছে।

২০। পরম একক ও ব্যবহারিক একক (Absolute units and Practical units):—

দৈর্ঘ্য (সেণ্টিমিটার বা ফুট), ভর (গ্রাম বা পাউণ্ড) ও সময় (সেকেণ্ড), এই তিনটি মূল একক হইতে সরাসরিভাবে লব্ধ একককে পরম একক বলা হয়। কোন কোন ক্ষেত্রে এই পরম একক বেশী বড় বা ছোট বলিয়া কাজের অনুপযোগী হইয়া পড়ে। তখন এই পরম এককের কোন উপযোগী ভগ্নাংশ বা গুণিতাংশ ব্যবহারিক একক হিসাবে গ্রহণ করিয়া উহার সাহায্যে মাপজোক প্রকাশ করা হয়। সেণ্টিমিটার হইতে লব্ধ ক্ষেত্রফলের পরম একক হইল বর্গ সেণ্টিমিটার। কিন্তু কোন দেশের মোট জমির ক্ষেত্রফল মাপার ব্যাপারে এই এককটি অবশ্যই অতি ক্ষুদ্র। তখন বর্গ কিলোমিটারকে ক্ষেত্রফলের ব্যবহারিক একক হিসাবে গ্রহণ করা হয়। এক বর্গ কিলোমিটার = এক বর্গ সেণ্টিমিটার $\times 10^{10}$। এইভাবে পরম একক বর্গ ফুটের পরিবর্তে ব্যবহারিক একক বর্গ মাইল প্রায়ই কাজে লাগানো হয়। তবে মনে রাখিতে হইবে পরম একক ও ব্যবহারিক একক উভয়ই লব্ধ একক।

২১। কয়েকটি উপসর্গের [Prefixes] অর্থ ঃ—

	উপসর্গ	অর্থ	এককের কতগুণ
এককের ভগ্নাংশ	মাইক্রো (micro)	1/1,000,000	10^{-6}
	মিলি (milli)	1/1,000	10^{-3}
	সেণ্টি (centi)	1/100	10^{-2}
	ডেসি (deci)	1/10	10^{-1}
এককের গুণিতাংশ	ডেকা (Deca)	10/1	10^{1}
	হেক্টো (Hecto)	100/1	10^{2}
	কিলো (Kilo)	1000/1	10^{3}
	মেগা (Mega)	1,000,000/1	10^{6}

২২। মূল এককসমূহ এবং উহাদের গুণিতাংশ ও ভগ্নাংশ (The Fundamental units, their multiples and sub-multiples) ঃ—

মূল একক তিনটি, (ক) দৈর্ঘ্যের একক, (খ) ভরের একক, এবং (গ) সময়ের একক।

(ক) দৈর্ঘ্যের একক ঃ—

মেট্রিক (সি.জি.এস্.) পদ্ধতি ঃ

আন্তর্জাতিক প্রামাণ্য মিটারের* একশত ভাগের এক ভাগকে এক সেণ্টিমিটার বলে। এই সেণ্টিমিটারই হইতেছে দৈর্ঘ্যের একক।

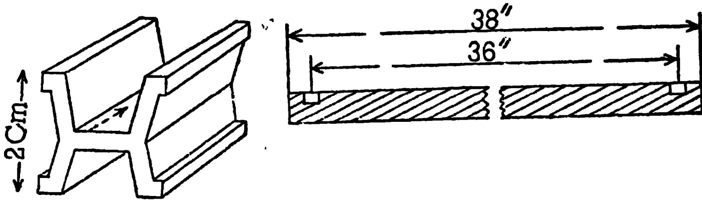
বৃটিশ (এফ্.পি.এস্.) পদ্ধতি ঃ

ইংলণ্ডের 'বোর্ড অব্ ট্রেড'-এর মান-নির্ণয় বিভাগে রক্ষিত এক রাজকীয় প্রামাণ্য গজের এক-তৃতীয়াংশ দৈর্ঘ্য হইল এক ফুট। এই ফুটকেই দৈর্ঘ্যের একক ধরা হয়।

* সুমেরু হইতে বিষুবরেখা পর্যন্ত প্যারীর মধ্য দিয়া যে দ্রাঘিমা রেখা গিয়াছে, মিটার উহার একলক্ষ ভাগের এক ভাগ ধার্য করার কথা ছিল। সেক্ষেত্রে রক্ষিত প্রামাণ্য মিটার এই মাপ অপেক্ষা সামান্য কম।

আন্তর্জাতিক প্রামাণ্য মিটার প্লাটিনাম-ইরিডিয়াম মিশ্র ধাতুর তৈয়ারী। খুব দৃঢ় করিবার জন্য ইহাকে অনেকটা X-এর আকারে তৈয়ারী করা হইয়াছে। চিত্র ২-এর বাম অংশে ইহার একটি রৈখিক নক্সা দেখান হইয়াছে। এই দণ্ডটিকে দুইটি সমভাবে স্থাপিত রোলারের উপর বসাইয়া অনুভূমিকভাবে (horizontal plane) রাখা হয়। মধ্যস্থ সমতল অংশের (তীর চিহ্নিত) দুইটি নির্দিষ্ট রেখাচিহ্নের আন্তঃদূরত্বকে 0° সেণ্টিগ্রেড উষ্ণতায় এক মিটার বলে।

চিত্র ২-এর ডাইন দিকে প্রামাণ্য গজের দণ্ডটির নক্সা দেখান হইয়াছে। ব্রোঞ্জ-নির্মিত ঐ দণ্ডটির দুই প্রান্তে দুইটি সোনার প্লাগ (plug) আছে। দুই প্লাগের উপরস্থ দুইটি নির্দিষ্ট রেখাচিহ্নের আন্তঃদূরত্বকে 62° ফারেনহাইট উষ্ণতায় এক রাজকীয় গজ (36") বলা হয়। ব্রোঞ্জ দণ্ডটিকে এমনভাবে রাখা হয় যে, ইহা কখনই বেঁকিয়া যায় না।



চিত্র ২

দৈর্ঘ্যের মেট্রিক তালিকা

1 মিলিমিটার (মি.মি.)	=1/1,000	মিটার (মি.)	=0·001 মি.
10 মিলিমিটার	=1	সেণ্টিমিটার (সে.মি.) =	0·01 মি.
10 সেণ্টিমিটার	=1	ডেসিমিটার (ডে.মি.) =	0·1 মি.
10 ডেসিমিটার	=1	মিটার (মি.)।	
10 মিটার	=1	ডেকামিটার (ডেকা মি.) =	10 মি.
10 ডেকামিটার	=1	হেক্টোমিটার (হে.মি.) =	100 মি.
10 হেক্টোমিটার	=1	কিলোমিটার (কি.মি.) =	1000 মি.

অতএব 1 মি.মি. =0 1 সে.মি. ='01 ডে.মি. = 0·001 মি.।

মিটারের ভগ্নাংশ, গুণিতাংশ সবই এক বা একাধিক দশ দিয়া ভাগ বা গুণ করিয়া পাওয়া যায়। এই এক বা একাধিক দশ দিয়া ভাগ বা গুণ করার অর্থ হইল দশমিক

বিন্দুকে যথাক্রমে বাম বা ডাইন দিকে এক বা একাধিক ঘর সরানো। এইজন্য মেট্রিক পদ্ধতিতে হিসাবপত্র করার অনেক সুবিধা হয়। এই পদ্ধতিকে দশমিক পদ্ধতিও (decimal system) বলা হয়।

দৈর্ঘ্যের বৃটিশ তালিকা		একক রূপান্তর	
12 ইঞ্চি (12")	=1 ফুট (1')	1 মিটার	=39·37 ইঞ্চি
3 ফুট (3')	=1 গজ (গজ)	1 ইঞ্চি	=2·54 সেন্টিমিটার
1760 গজ	=1 মাইল	1 কিলোমিটার	=0·621 মাইল
220 গজ	=1 ফারলং	1 মাইল	=1·609 কিলোমিটার
8 ফারলং	=1 মাইল	1 ফুট	=30·48 সেন্টিমিটার

$$1 \text{ মিল } = \frac{1}{1000} \text{ ইঞ্চি} = 10^{-3} \text{ ইঞ্চি।}$$

Exercises

1. If the length of the fore-arm is 18", find the length of the fore-arm in cms. [উত্তর : 45·72 সে.মি.]

2. The distance between Calcutta and Delhi is 900 miles. Express it in kilometres. [উত্তর : 1448·1 কি.মি.]

3. Assuming the earth to be a sphere, calculate its circumference in kilometres if the diameter is 8,000 miles [উত্তর : 40,4৮4·8 কি.মি.]

(খ) ভরের একক (ভর হইল কোন বস্তুতে পদার্থের পরিমাণ) :—

মেট্রিক (সি.জি.এস্.) পদ্ধতি :

ভরের একক গ্রাম। এক গ্রাম, আন্তর্জাতিক এক প্রামাণ্য কিলোগ্রামের এক হাজার ভাগের এক ভাগ। এই কিলোগ্রামটি একটি নিরেট চোঙ (soild cylinder)। ইহা প্ল্যাটিনাম-ইরিডিয়াম মিশ্র ধাতু দ্বারা তৈয়ারী এবং ইহার উচ্চতা ও ব্যাস সমান।

বৃটিশ (এফ.পি.এস্.) পদ্ধতি :

ভরের একক পাউণ্ড (Avoirdupois)। এক পাউণ্ডে সাত হাজার গ্রেন। একটি পাউণ্ড ভর ইংলণ্ডের 'বোর্ড অব্ ট্রেড'এর মাননির্ণয় বিভাগে রক্ষিত আছে। ইহা একটি প্ল্যাটিনামের নিরেট চোঙ (solid cylinder)।

দ্রষ্টব্য : জলের ঘনত্ব 4° সেণ্টিগ্রেড উষ্ণতায় সর্বাপেক্ষা বেশী। 4° সেণ্টিগ্রেড উষ্ণতায় 1 ঘন ডেসিমিটার আয়তনের বিশুদ্ধ জলের ভর মোটামুটি 1 কিলোগ্রাম ধরা যায়। 1 কিলোগ্রাম = 1000 গ্রাম = 10^3 ঘন সেণ্টিমিটার (ঘ.সে.মি.) জলের ভর = 1 লিটার (1000 ঘ.সে.) জলের ভর। অতএব, 1 গ্রাম = 1 ঘন সেণ্টিমিটার জলের ভর।

ভরের মেট্রিক একক তালিকা

10 মিলিগ্রাম = 1 সেণ্টিগ্রাম
10 সেণ্টিগ্রাম = 1 ডেসিগ্রাম (ডে.গ্রা.)
10 ডেসিগ্রাম = 1 গ্রাম
1,000 গ্রাম = 1 কিলোগ্রাম (কি.গ্রা.)
সুতরাং 1 মিলিগ্রাম = 0·1 সেণ্টিগ্রাম
= 0·01 ডেসিগ্রাম = 0·001 গ্রাম
= 0·00,0001 কিলোগ্রাম।

ভরের ইংরাজী একক তালিকা

16 ড্রাম = 1 আউন্স
16 আউন্স = 1 পাউণ্ড
28 পাউণ্ড = 1 কোয়ার্টার
4 কোয়ার্টার = 1 হাণ্ডেড্ ওয়েট্
20 হাণ্ডেড্ ওয়েট্ = 1 টন
1 পাউণ্ড (Avoirdupois) = 7,000 গ্রেণ
1 পাউণ্ড (Troy) = 5760 গ্রেণ
(স্বর্ণকার এবং ঔষধ বিক্রেতাগণ দ্বারা এই ওজন ব্যবহৃত হয়)

ভারতীয় তোলা প্রায় 12 গ্রামের সমান। ভারতীয় সের বা 80 তোলা 960 গ্রাম বা প্রায় 1 কিলোগ্রামের সমান।

একক রূপান্তরের তালিকা (Conversion Table)

1 পাউণ্ড = 7,000 গ্রেণ	1 গ্রাম = 15·43 গ্রেণ
1 পাউণ্ড = 453·6 গ্রাম	1 গ্রেণ = 64·8 মিলিগ্রাম
1 কিলোগ্রাম = 2·205 পাউণ্ড	1 আউন্স = 28·35 গ্রাম

1 টন = 2,240 পাউণ্ড।

Examples

1. 1 ton equals how many kilograms ?

উত্তর : 1 টন = 20×4×28 পাউণ্ড = 2,240 পাউণ্ড = 2,240×453·6 গ্রাম = $\frac{2240 \times 453 \cdot 6}{1,000}$ কিলোগ্রাম = 1016 কি. গ্রা.।

2. 1 ton equals how many maunds ? 1 maund = 82 lbs.

উত্তর : 1 টন = 20×4×28 পাউণ্ড = 2,240 পাউণ্ড = $\frac{2240}{82}$ মণ = 27 মণ, প্রায়।

3. A tank has a capacity of 500 gallons. How many tons of water will it hold? 1 gallon = 10 lbs. of water.

উত্তর : 500 গ্যালন জল $= 500 \times 10$ পাউণ্ড জল $= \frac{500 \times 10}{2,240}$ টন $= 2.23$ টন।

Exercises

1. If the capacity of a wagon be 25 tons of coal, how many kilogrammes of coal may it contain? [উত্তর : 25, 401·6 কি. গ্রা.]।

2. The mass of the moon is 7.33×10^{22} kilogrammes. Find it in tons.

[উত্তর : 7.215×10^{19} টন।]

3. The mass of the Earth is 5.882×10^{21} tons. Find it in kilogrammes.

[উত্তর : 5.975×10^{24} কি. গ্রা.।]

4. The mass of the Sun is 19.72×10^{31} kgm. Find it in tons.

[উত্তর : 1.941×10^{29} টন।]

(গ) **সময়ের একক**—নির্দিষ্ট কালান্তরে যে ঘটনায় একই অবস্থার পুনরাবৃত্তি ঘটে তাহা দ্বারা সময় মাপা যায়। পৃথিবীর আহ্নিকগতিতে এইরূপ পুনরাবৃত্তি আছে। তাই সময়ের মৌলিক একক পৃথিবীর আহ্নিকগতির সময়ের ভিত্তিতে নির্দিষ্ট করা হইয়াছে।*

পৃথিবীর আহ্নিকগতির জন্য সূর্যকে আকাশপটে চলিতে দেখা যায়। ভূপৃষ্ঠের কোন স্থানের মধ্যরেখা (meridian) হইতে পুনরায় সেই মধ্যরেখায় ফিরিয়া আসিতে সূর্যগোলকের কেন্দ্র বিন্দুর যে সময় লাগে ঐ সময়কে এক সৌর দিবস বলা হয়। সৌর দিবসের দৈর্ঘ্য প্রতিদিন একটু একটু বদলায়, তবে প্রতি সৌর বৎসরে একই পরিবর্তন-ধারার পুনরাবৃত্তি ঘটে। এক সৌর বৎসর প্রায় $364\frac{1}{4}$ সৌর দিবসের সমান। সারা বৎসরের সকল সৌর দিবসের গড়কে এক গড় সৌর দিবস (mean solar day) বলা হয়।

গড় সৌর দিবসের 24 ভাগের একভাগে 1 ঘণ্টা হয়। এক ঘণ্টার 60 ভাগের একভাগ হইল 1 মিনিট ও এক মিনিটের 60 ভাগের একভাগ এক গড় সৌর সেকেণ্ড

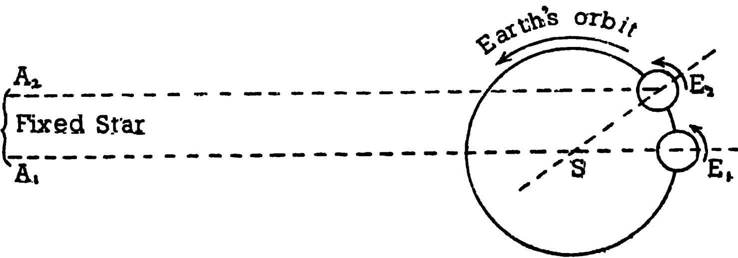
---

* পূর্বে পৃথিবীর আপন অক্ষের চতুর্দিকে একবার ঘূর্ণনের সময়কে সময়ের মৌলিক একক ধরা হইত। ১৯৫৬ সালে অনুষ্ঠিত ওজন ও মাপের আন্তর্জাতিক কমিটির সভায় স্থির হইয়াছে যে, সূর্যের চতুর্দিকে পৃথিবীর বার্ষিক গতিকেই সময়ের এককের মূল ভিত্তি বলিয়া ধরা হইবে। এই নূতন হিসাবে ১৯০০ খৃষ্টাব্দের পৃথিবীর বাৎসরিক আবর্তন-সময়কে এক প্রামাণ্য বৎসর ধরা হয়। সময়ের অন্যান্য একক ইহারই ভগ্নাংশ বা গুণিতাংশ।

(mean solar second)। অতএব এক গড় সৌর দিবস $= 24 \times 60 \times 60 = 86{,}400$ গড় সৌর সেকেণ্ড। অর্থাৎ এই এক সেকেণ্ড এক গড় সৌর দিবসের 86,400 ভাগের একভাগ। ফরাসী ও বৃটিশ উভয় পদ্ধতিতেই সময়ের একক এক গড় সৌর সেকেণ্ড।

নাক্ষত্রিক দিবস (sidereal day).—কোন নির্দিষ্ট নক্ষত্র কর্তৃক পৃথিবীর কোন স্থানের মধ্যরেখা হইতে পুনরায় সে মধ্যরেখায় ফিরিয়া আসিতে যত সময় লাগে ঐ সময়কে এক নাক্ষত্রিক দিবস বলে। নাক্ষত্রিক দিবস একটি ধ্রুব সময়, ইহা কমেও না বাড়েও না। এক গড় সৌর দিবস হইতে এক নাক্ষত্রিক দিবস 4 মিনিট কম।

নাক্ষত্রিক দিবস সৌর দিবস হইতে ছোট হওয়ার কারণ.—পৃথিবী আপন কক্ষপথে থাকিয়া সূর্যের চারিদিকে ঘোরে বলিয়া কোন স্থানের মধ্যরেখা হইতে পুনরায় সেই মধ্যরেখায় ফিরিতে সূর্যের যে সময় লাগে, একই মধ্যরেখা হইতে পুনরায় সেই মধ্যরেখায় ফিরিতে যে-কোন নির্দিষ্ট নক্ষত্রের সময় লাগে তাহা অপেক্ষা কিছু কম।



চিত্র ৩

চিত্র ৩-এ E_1 হইল পৃথিবীর একটি অবস্থান। এই অবস্থায় সূর্য S ও স্থির নক্ষত্র A_1 একই মুহূর্তে A_1SE_1 রেখার উপর অবস্থিত পৃথিবীপৃষ্ঠের এক নির্দিষ্ট স্থানের মধ্যরেখা অতিক্রম করিতেছে। পৃথিবী আপন অক্ষের চারিদিকে এক পাক ঘুরিয়া আসিল। এই সময়ে পৃথিবী আপন কক্ষপথে E_1 হইতে E_2-তে আসিবে এবং এইখানে স্থির নক্ষত্র A_2-তে আছে বলিয়া মনে হইবে, অর্থাৎ নক্ষত্রটি পুনরায় A_2E_2-র উপর অবস্থিত নির্দিষ্ট স্থানের মধ্যরেখা অতিক্রম করিবে। চিত্র হইতে সহজেই বুঝা যায় যে, সূর্য যাহাতে পূর্বনির্দিষ্ট স্থানের মধ্যরেখায় আসিতে পারে সেজন্য পৃথিবীকে আরও A_2E_2S কোণ ঘুরিতে হইবে। এই জন্যই সৌর দিবস নাক্ষত্রিক

দিবস হইতে বড়। পৃথিবী যদি আপন অক্ষরেখায় পশ্চিম হইতে পূর্বে না ঘুরিয়া বিপরীত দিক্ হইতে অর্থাৎ, পূর্ব হইতে পশ্চিমে ঘুরিত, তাহা হইলে সৌর দিবস নাক্ষত্রিক দিবস হইতে ছোট হইত।

২৩। মিটার-কিলোগ্রাম-সেকেণ্ড (m.k.s.) একক পদ্ধতি :—

এই পদ্ধতিতে দৈর্ঘ্যের একক মিটার, ভরের একক কিলোগ্রাম ও সময়ের একক সেকেণ্ড। অর্থাৎ, এই পদ্ধতিতে মৌলিক একক-তিনটি উহাদের প্রামাণ্য মানকের সমান।

২৪। মেট্রিক পদ্ধতির সুবিধা :—

(১) প্রত্যেক একক পরবর্তী ছোট এককের দশ গুণ। এইজন্য ছোট হইতে বড় এককে বা বড় হইতে ছোট এককে যাইতে দশমিক বিন্দু ঐ মত বামে বা ডাইনে সরাইয়া দিলেই চলে—যেমন, 3·127 মি = 312·7 সে.মি. = 3,127 মি.মি.।

বৃটিশ পদ্ধতিতে কোন রাশির এই ধরণের একক পরিবর্তন করিতে 3, 12, ইত্যাদি কোন সংখ্যা দ্বারা উহাকে গুণ বা ভাগ করা দরকার হয়।

(২) দৈর্ঘ্য, আয়তন ও ভরের এককগুলির মধ্যে সহজ সম্পর্ক আছে। যেমন 4° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায় 1 ঘন সেন্টিমিটার বিশুদ্ধ জলের ভর 1 গ্রাম। অতএব জলের আয়তন ঘন সেন্টিমিটারে জানা থাকিলে উহার ভর গ্রামে বাহির করিতে অসুবিধা হয় না। এইভাবে দৈর্ঘ্য, আয়তন ও ভরের যে-কোন একটিকে নির্দিষ্ট এককে বলা হইলে, অন্যগুলির মান কি হইবে তাহা সহজেই বলা যায়।

বৃটিশ পদ্ধতিতে এক ঘনফুট জলের ভর = 62·5 পাউণ্ড। 1 কোয়ার্ট = 69·278 ঘনইঞ্চি, ইত্যাদি। তাই ইহাতে কতকগুলি অসুবিধাজনক সংখ্যা মনে রাখিতে হয়।

(৩) এই পদ্ধতি পৃথিবীর সকল দেশের বিজ্ঞানিগণ গ্রহণ করিয়াছেন।

চতুর্থ পরিচ্ছেদ

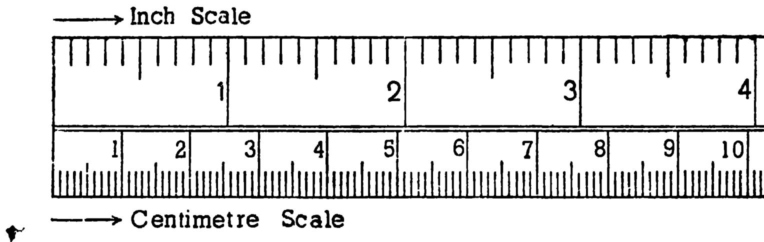
পরিমাপ প্রণালী ও কয়েকটি পরিমাপ যন্ত্র

(Measurements and Some Measuring Instruments)

২৫। দৈর্ঘ্য মাপার প্রণালী (Measurement of length) :—

কত বড় দৈর্ঘ্য মাপিতে হইবে, ঐ দৈর্ঘ্য কিভাবে অবস্থিত ও উহা কতখানি নিখুঁতভাবে পরিমাপ করা প্রয়োজন এইগুলি বিচার করিয়াই দৈর্ঘ্য পরিমাপের যন্ত্র নির্বাচন করিতে হয়।

সাধারণ লেবরেটরীতে দৈর্ঘ্য মাপার সহজ যন্ত্র হইল সাধারণ সরল স্কেল (চিত্র ৪)। এই স্কেলে 1 মিলিমিটার এবং $\frac{1}{16}$ ইঞ্চির কম দৈর্ঘ্য সঠিক পাওয়া যায় না।

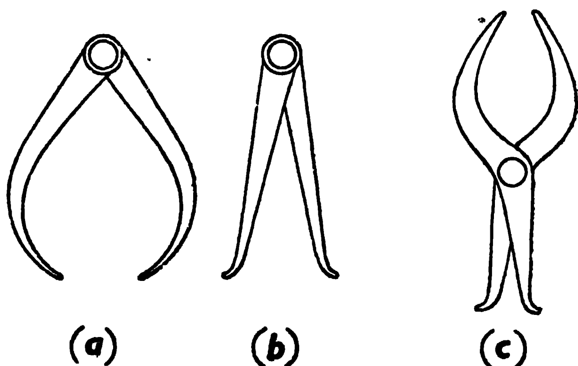


চিত্র ৪—সাধারণ স্কেল।

সাধারণ সরল স্কেল পাতলা কাঠ বা ইস্পাতের পাত দ্বারা তৈয়ারী হয়। ইহার প্রস্থ থাকে ১ ইঞ্চি হইতে দেড় ইঞ্চি পর্যন্ত। ইহার একধারে সেন্টিমিটারের দাগ থাকে ও অন্য ধার ধরিয়া থাকে ইঞ্চির দাগ। প্রত্যেক সেন্টিমিটারকে আবার দশ ভাগে ভাগ করিয়া মিলিমিটার চিহ্ন দেওয়া হয়। এক ইঞ্চিকে 8 বা 10 বা 16 ভাগে ভাগ করা হয়। সাধারণ কাঠের স্কেল 100 সেন্টিমিটার বা 50 সেন্টিমিটার লম্বা হইয়া থাকে। ইহার প্রথমটিকে মিটার স্কেল ও দ্বিতীয়টিকে অর্ধ-মিটার স্কেল বলা হয়। ইস্পাত-নির্মিত এক ফুট স্কেলকে সাধারণতঃ ইঞ্চি ও ইঞ্চির ভগ্নাংশে ভাগ করা হয়। এইরূপ স্কেলেরও ব্যাপক ব্যবহার দেখা যায়।

কোন দৈর্ঘ্য মাপিতে হইলে ঐ দৈর্ঘ্য বরাবর স্কেলটির ধার মিলাইয়া ধরিতে হয়। এরূপ করা সম্ভব না হইলে ডিভাইডার (divider) যন্ত্রের দুই বাহুর প্রান্ত দৈর্ঘ্যটির প্রান্তিক দুই বিন্দুর সহিত মিলাইয়া লইতে হয়। পরে ঐ অবস্থায় ডিভাইডারটি স্কেলের উপর ফেলিয়া দৈর্ঘ্যটি মাপা হয়।

কোন নলের বা চোঙের অন্তর্ব্যাস অথবা বহির্ব্যাস মাপিতে হইলে সরল বা সাধারণ ক্যালিপার যন্ত্র (callipers) (চিত্র ৫) ব্যবহার করিতে হয়। পরে স্কেলের ক্যালিপারের দুই বাহুর প্রান্তদ্বয়ের দূরত্ব মিলাইয়া লইয়া মাপটি বাহির করিতে হয়।



চিত্র ৫—সরল ক্যালিপার।

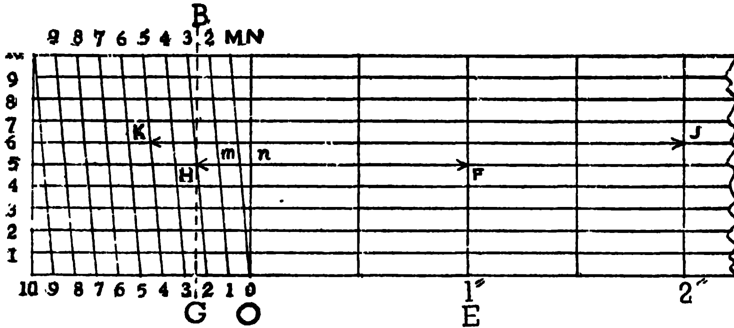
কারখানায় নির্দিষ্ট অন্তর্ব্যাসের ফাঁপা চোঙ বা নির্দিষ্ট বহির্বাসের নিরেট চোঙ মেসিনে কাটিয়া তৈয়ারী করিতে হইলে সর্বদাই প্রামাণ্য মাপের সাহায্যের দরকার হয়। এই কাজে প্রথমে সরল ক্যালিপার ব্যবহার করিয়া পরে প্রামাণ্য গেজের (standard gauge) সঙ্গে মিলাইয়া লওয়া হয়।

২৬। কর্ণ স্কেল (Diagonal scale) :—

একটি স্কেলের সবচেয়ে ছোট ঘরের মান যাহা তাহা অপেক্ষা বেশী সঠিকভাবে কোন্ দৈর্ঘ্য ঐ স্কেল দিয়া মাপা যায় না। কিন্তু এই স্কেলের একপ্রান্তে একটি কর্ণ

স্কেল আঁকা থাকিলে, ঐ ক্ষুদ্রতম ঘরের মান অপেক্ষা অধিকতর সঠিক মাপ লওয়া সম্ভব হয়।

মনে করা যাক্ যে, কোন স্কেলের সর্বাপেক্ষা ছোট ঘর = 0·1 ইঞ্চি (চিত্র ৬)।



চিত্র ৬

মনে কর যে, 0·1 ইঞ্চির দশমাংশ পর্যন্ত সঠিক মাপার জন্য একটি কর্ণ স্কেল আঁকিতে হইবে। প্রথমতঃ স্কেলটিকে প্রস্থের উপর উহার দৈর্ঘ্যের সহিত সমান্তরালভাবে রেখা টানিয়া দশটি সমান ভাগে ভাগ কর। তারপর স্কেলটির 0-দাগের বাম দিকে, উপরে ও নীচে উভয় ধারে এক ইঞ্চি দৈর্ঘ্যকে সমান দশ ভাগে ভাগ কর। এখন নীচের 0 চিহ্নের সহিত উপরের 1 চিহ্ন একটি কর্ণ দ্বারা যুক্ত কর। এইভাবে দশটি পরস্পর সমান্তরাল কর্ণ আঁকা হইল। চিত্রে দেখান হইয়াছে যে, নীচের 1 চিহ্ন যুক্ত হইয়াছে উপরের 2এর সহিত, নীচের 2 উপরের 3এর সহিত···ইত্যাদি ইত্যাদি।

উদাহরণ—মনে করা যাক্ যে, 1·2 ইঞ্চি ও 1·3 ইঞ্চির মাঝামাঝি কোন দৈর্ঘ্য, দ্বিতীয় দশমিক ঘর পর্যন্ত সঠিকভাবে নির্ণয় করিতে হইবে। একটি ডিভাইডারের (divider) দুই বাহুর অগ্রবিন্দুর আন্তঃ-দূরত্ব দৈর্ঘ্যটির সমান করিয়া লও। তারপর ডিভাইডারটির এক বাহুর প্রান্ত, *A* বিন্দুর (1" চিহ্ন) সহিত মিলাইয়া ধরিয়া অন্য বাহুর প্রান্ত বাম দিকে কর্ণ স্কেলের উপরের ধারে কোন্ পর্যন্ত আসিল দেখ। মনে করা যাক যে, এই প্রান্ত *B* পর্যন্ত আসে (চিত্র ৬)।

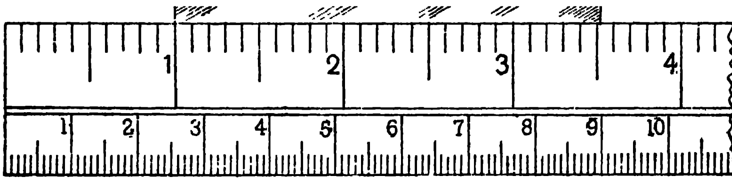
B কিন্তু কোন বিভাজক বিন্দুর সহিত মিলিল না। *BG* ও *AE* উভয়েই স্কেলের দৈর্ঘ্যের উপর লম্ব। *BG* কল্পিত, *AE* প্রকৃত। *BG* ও *AE*র মধ্যের দূরত্ব নির্ণেয় দৈর্ঘ্যের সমান। এখন ডিভাইডারটির বাম প্রান্ত *BG* ধরিয়া ও ডাইন প্রান্ত *AE* ধরিয়া ডিভাইডারটি সোজা নীচে নামাও। দৈর্ঘ্যের কোন-না-কোন সমান্তরাল রেখায় আসিয়া ডিভাইডারের বাম বাহুর প্রান্ত একটি কর্ণ ও ঐ সমান্তরাল রেখার ছেদবিন্দুতে পড়িবে। চিত্রে দেখান হইয়াছে যে, পঞ্চম সমান্তরালে আসিয়া এই মিল *H*-এ হইয়াছে।

এখন HF হইল নির্ণের দৈর্ঘ্য। H স্পষ্টতঃই তৃতীয় কর্ণ ও পঞ্চম সমান্তরালের ছেদবিন্দু। চিত্র অনুযায়ী নির্ণের দৈর্ঘ্য $AB = 1'' +$ কর্ণ স্কেলের দুইটি বড় ঘর $(2 \times 0{\cdot}1$ ইঞ্চি$) +$ এক ঘরের ভগ্নাংশ mn। কিন্তু mnO ও MNO ত্রিভুজদ্বয় সদৃশ (similar) বলিয়া $\frac{mn}{MN} = \frac{On}{ON}$ অথবা. $= mn\frac{On}{ON} \times MN = \frac{5}{10} \times \frac{1}{10}$ $= {\cdot}05$ ইঞ্চি।

অতএব, নির্ণের দৈর্ঘ্য $= 1'' + 0{\cdot}2'' + {\cdot}05'' = 1{\cdot}25''$।

২৭। চোখের আন্দাজ (Eye-estimation) ঃ—

কোন রডের (rod) দৈর্ঘ্য মাপিতে হইলে একটি স্কেল লইয়া উহার কোন একটি বড় দাগের সহিত রডের বামপ্রান্ত মিলাইয়া ধরিতে হয়। এখন ডাইন প্রান্তটি কোন্ দাগের সহিত মিলিল দেখিতে হয়। ডাইন প্রান্তের পাঠ (reading) হইতে বাম প্রান্তের পাঠ বিয়োগ



চিত্র ৭

করিলে রডটির দৈর্ঘ্য পাওয়া যায়। বাম প্রান্ত নির্দিষ্ট দাগের সহিত মিলাইয়া ধরিলে ডাইন প্রান্ত দুইটি দাগের মধ্যবর্তী কোন-এক স্থলেও পড়িতে পারে। সেক্ষেত্রে এক ঘরের ভগ্নাংশ পর্যন্ত রডের দৈর্ঘ্যের হিসাব লইতে হইলে তাহা চোখের আন্দাজে ঠিক করা হয়। 'আন্দাজ' শব্দ হইতেই বোঝা যায় যে, এই মাপ নিখুঁত হইতে পারে না। তবে যেখানে আরও ছোট ঘর নাই সেখানে চোখের আন্দাজে অর্থাৎ চোখে দেখিয়া ও চিন্তা করিয়া দৈর্ঘ্য ঠিক করাই পদ্ধতি। চিত্র ৭-এ রডের বাম প্রান্ত (A) 1 ইঞ্চি দাগের সহিত মিলাইয়া ধরা হইয়াছে। ডাইন প্রান্ত (B) 3·5 ইঞ্চি ও 3·6 ইঞ্চি এই দুই দাগের মধ্যে পড়িয়াছে। 3·5 হইতে 3·6 মধ্যের ফাঁককে (0·1 ইঞ্চিকে) আমরা মনে মনে দশ ভাগ করিয়া লইতে পারি। এখন 3·5 ইঞ্চির পর রডের যেটুকু আছে, তাহা এই দশ ভাগের 1, 2, 3, 4,……, 9, প্রভৃতি কয় ভাগ দখল করিয়া আছে তাহা চোখের আন্দাজে ঠিক করিতে হইবে। মনে করা যাক্, আলোচ্য উদাহরণে রডের B প্রান্ত উক্ত কল্পিত দশ ভাগের 2 ভাগ মাত্র দখল করিয়া আছে। এই 2 ভাগের

দৈর্ঘ্য $= 0.1$ ইঞ্চির $\frac{2}{10} = .02$ ইঞ্চি। অতএব রডটির দৈর্ঘ্য = ডাইন প্রান্তের পাঠ—বাম প্রান্তের পাঠ $= (3.5 + .02) - 1 = 3.52 - 1 = 2.52$ ইঞ্চি।

২৮। ব্যক্তিগত বা পরীক্ষাগত ভুল (Personal or experimental error) :—

চোখের আন্দাজে ঠিক করা মাপকে নিখুঁত বলিয়া দাবী করা যায় না। ইহাতে একটু ভুল থাকা সম্ভব। এই ভুল আবার এক এক ব্যক্তির ক্ষেত্রে এক এক পরিমাণ হয়। কাহার কত ভুল হইবে তাহা আগে হইতে বলিবার উপায় নাই। আবার একই ব্যক্তি একই মাপ বার বার লইলে মাপগুলি পরস্পর একটু-আধটু কম-বেশী হইবে। আমরা ধরিয়া লইতে পারি যে, একই ব্যক্তিকে একই জিনিষ বার বার মাপিতে দিলে তাহার বিভিন্ন মাপের মধ্যে বড় রকমের পার্থক্য ঘটিবে না। সাধারণতঃ কোন বার সে সামান্য বেশী মাপিবে, কোন বার সামান্য কম, কোন বার বা সঠিক। এইজন্য, সে যদি একই জিনিষ অনেক বার মাপে ও সকল মাপের গড় নেয় তবে আশা করা যায় যে, কম-বেশী ভুলগুলির গাণিতিক গড় শুদ্ধ মাপের খুব কাছাকাছি হইবে।

২৮ (ক)। গাণিতিক গড় পরিমাপ (Arithmetic mean or average value) :—

বৈজ্ঞানিক পরিমাপে কোন মাপ একবার লওয়া হইলে উহা যথেষ্ট বলিয়া বিবেচিত হয় না। কি মাপা হইতেছে তাহার দিকে লক্ষ্য রাখিয়া কত বার মাপ লইতে হইবে তাহা ঠিক করা হয়। মাপ কমপক্ষে 3 বার ও বেশীর দিকে 15 বার পর্যন্ত সাধারণতঃ লওয়া হয়। সব বারের মাপ যোগ দিয়া, যে কয়বার মাপা হইয়াছে ঐ সংখ্যা দিয়া যোগফলকে ভাগ করিলে, গাণিতিক গড় ফল পাওয়া যায়। নিম্নে তালিকাটিতে গড় নেওয়ার একটি দৃষ্টান্ত দেওয়া হইয়াছে।

পর্যবেক্ষণ	1	2	3	4	5
দৈর্ঘ্য (সেন্টিমিটার)	2·56	2·53	2·54	2·54	2·53

পাঠের সংখ্যা = 5 ; সবগুলি পাঠের যোগফল = 12·70 সেন্টিমিটার ; গাণিতিক গড় দৈর্ঘ্য $= \frac{12.70}{5} = 2.54$ সেন্টিমিটার।

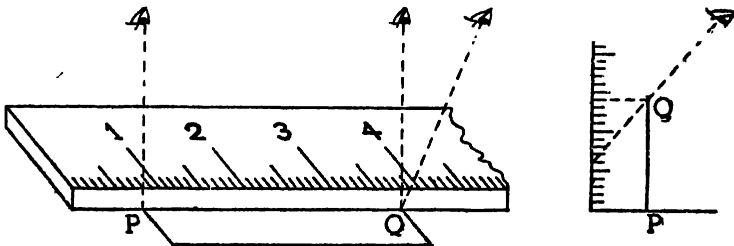
বিশেষ দ্রষ্টব্য : পদার্থবিজ্ঞানের মাপজোকে যেসব পাঠের মান মোটামুটি একরকম তাহাদেরই গড় লওয়া হয়। যদি কোন পাঠ অন্যান্য পাঠগুলি হইতে অনেক পৃথক হয়, তাহা হইলে গড় লইবার সময় সেটিকে বর্জন করাই নিয়ম।

২৯। **স্কেল ব্যবহারে সাধারণ ভুল** (**Common errors in using a scale)** :—

(১) **প্রান্তিক ভুল** (End error).—কিছুকাল ব্যবহারের পর স্কেলের প্রান্তের দাগগুলি ক্রমে অধিকতর ক্ষয়ের ফলে অস্পষ্ট ও অনিশ্চিত হইয়া উঠে। এইজন্য স্কেলের কোন প্রান্তই ব্যবহার করিতে নাই। মধ্যের অংশ সম্বন্ধে অনেক বেশী নিশ্চিত থাকা চলে।

(২) **স্কেলের ভাগগুলির বৈষম্যজনিত ভুল** (Errors due to non-uniformity of scale).—আদর্শ স্কেলে ক্ষুদ্রতম ভাগগুলিও সব পরস্পরের সমান হয়। অপেক্ষাকৃত কম দামের স্কেলে এরূপ নিখুঁত বিভাগ থাকে না। মনে করা যাইতে পারে যে, ভাগগুলি কোথাও কিছু ছোট কোথাও কিছু বড় আছে। এই ভুল কমাইবার জন্য একই বড় স্কেলের বিভিন্ন স্থানে বসাইয়া বিভিন্ন অংশের ঘরগুলি ব্যবহার করিয়া দৈর্ঘ্য মাপিতে হয়। এই মাপগুলির গড় লওয়া হইলে ভাগের বৈষম্যজনিত ভুল ইহাতে খুব কম হইবে।

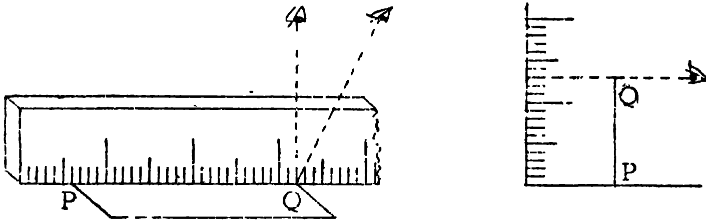
(৩) **লম্বন ভুল** (Parallax error) :—দুইটি বস্তু পরস্পরের সহিত লাগিয়া না থাকিলে দূর হইতে লক্ষ্য করার সময় দর্শকের চক্ষু এদিক ওদিক সরানো হইলে বস্তুদুইটির মধ্যে স্থানবিচ্যুতি ঘটে বলিয়া মনে হয়। এই ঘটনাকেই লম্বন ভুল বলা হয়।



চিত্র ৮

স্কেল দিয়া দৈর্ঘ্য মাপিতে গেলে এই লম্বন ভুলের দরুণ মাপের কিছুটা পার্থক্য ঘটিতে পারে। মনে কর, চিত্র ৮-এ স্কেল দিয়া *PQ*র দৈর্ঘ্য মাপা হইতেছে। *PQ*

যদি স্কেলের দাগগুলির সহিত মিলাইয়া ধরা না হয়, তাহা হইলে চক্ষুর অবস্থানের উপর দৈর্ঘ্যের মান নির্ভর করিবে। চক্ষুকে একটি বিন্দু ধরিয়া তাহার সহিত PQর যে-কোন প্রান্তিক বিন্দু যদি একটি সরলরেখা দ্বারা যোগ করা যায় তখন এই সরলরেখা স্কেলের যে দাগের উপর দিয়া যাইবে, পর্যবেক্ষক তাহাকেই ঐ বিন্দুর অবস্থানের পাঠ বলিয়া গ্রহণ করিবে। ফলে ভুল হওয়া খুবই সম্ভব।



চিত্র ৯

এই ভুল দূর করিবার উপায় কি? চিত্র ৯-তে দুইটি উপায় দেখান হইয়াছে। PQকে যদি দাগগুলির সহিত মিলাইয়া ধরা যায় (বাম চিত্র) তাহা হইলে চক্ষু যেখানেই থাকুক না কেন PQর নির্দিষ্ট প্রান্ত সর্বদাই স্কেলের একই দাগের সহিত মিলিয়াছে বলিয়া মনে হইবে। যদি কোন কারণে এভাবে মিলাইয়া ধরা সম্ভব না হয়, তাহা হইলে চক্ষুকে স্কেলের ভূমিরেখার লম্ব বরাবর রাখিয়া স্কেলটি পড়িতে হইবে। চিত্র ৯-র ডাইন অংশে এই পদ্ধতি দেখান হইয়াছে।

বিশেষ দ্রষ্টব্য : PQ বস্তুটি যথেষ্ট স্থূল হইলে স্কেলের দাগের সহিত মিলাইয়া ধরা হইলেও পাঠে লম্বন-ভুল (parallax) থাকিতে পারে। সে ক্ষেত্রে উপরোক্ত পদ্ধতি দুইটি একত্রে প্রয়োগ করা উচিত।

৩০। ভুলের শতকরা হিসাব (Calculation of percentage error) :—

পর্যবেক্ষণলব্ধ ফল প্রকৃত ফলের সহিত না মিলিলে ভুল কিছু আছে বুঝিতে হইবে। প্রকৃত মান ও লব্ধ মানের পার্থক্যই হইল ভুলের পরিমাণ। লব্ধ ফল বড় হইলে ভুল ধন (+ve), আর লব্ধ ফল ছোট হইলে ভুল ঋণ, (−ve) এইরূপ বলা হয়।

$$\text{শতকরা ভুল, বা \% ভুল} = \frac{\text{লব্ধ মান} - \text{সঠিক মান}}{\text{সঠিক মান}} \times 100$$

ভুল সংশোধন করিতে হইলে লব্ধ ফল হইতে ভুলের পরিমাণ বিয়োগ করিতে হয়। ধন ও ঋণ উভয় জাতীয় ভুল সম্বন্ধেই এই নিয়ম।

উদাহরণ :—এক প্রামাণ্য মিটার কোন স্কেলের মাপে হইল 99·5 সেন্টিমিটার। এক্ষেত্রে দৈর্ঘ্যটির সঠিক মাপ=100 সে.মি., কিন্তু লব্ধ মাপ=99·5 সে.মি.।

সুতরাং ভুল=99·5−100=−0·5 সে.মি.। সুতরাং % ভুল$=-\frac{0.5}{100}\times 100=-0.5\%$।

সঠিক মাপ=লব্ধ মাপ−ভুল=99·5−(−0·5)=99·5+0·5=100 সে. মি.=1 মিটার।

৩১। ভার্নিয়ার (Vernier) :—স্কেলের দ্বারা দৈর্ঘ্য মাপিবার কালে ইহার সর্বাপেক্ষা ছোট ঘরের মান হইতে কম দৈর্ঘ্য সঠিকভাবে পাওয়া যায় না। বহুক্ষেত্রে, বিশেষ করিয়া সরু নল বা তারের ব্যাস বা অনুরূপ ছোট দৈর্ঘ্যের ক্ষেত্রে মাপ আরও বেশী সঠিকভাবে নেওয়া প্রয়োজন হয়। সাধারণ স্কেলের সহিত একটি ভার্নিয়ার লাগাইয়া মাপ নেওয়া হইলে সাধারণ স্কেল অপেক্ষা অধিকতর সঠিক মাপ পাওয়া যায়। ভার্নিয়ার কয়েকভাগে বিভক্ত একটি ছোট স্কেল মাত্র। এই স্কেলের একটি ধার প্রধান স্কেলের একটি ধার ধরিয়া প্রয়োজন অনুসারে ডাইনে-বামে চলিতে পারে। বেলজিয়ামের গণিতজ্ঞ পিয়ের ভার্নিয়ার এই যন্ত্রটি উদ্ভাবন করিয়াছিলেন বলিয়া ইহাকে ভার্নিয়ার বলা হয়। প্রধান স্কেল সরল হইলে ভার্নিয়ার স্কেলও সরল হইবে। প্রধান স্কেল কৌণিক হইলে ভার্নিয়ার স্কেলও কৌণিক হইবে। কার্যনীতি অবশ্য উভয় ক্ষেত্রেই এক।

কার্যনীতি :—ভার্নিয়ার স্কেলে n-সংখ্যক ভাগ থাকিলে n-ভাগের মোট দৈর্ঘ্য (বা মোট কোণের পরিমাণ) প্রধান স্কেলের $(n-1)$ বা $(n+1)$ ভাগের সমান হইবে। মনে কর, প্রধান স্কেলের একটি ছোট ঘরের মান$=S$ এবং ভার্নিয়ার স্কেলের এক ভাগের মান$=v$।

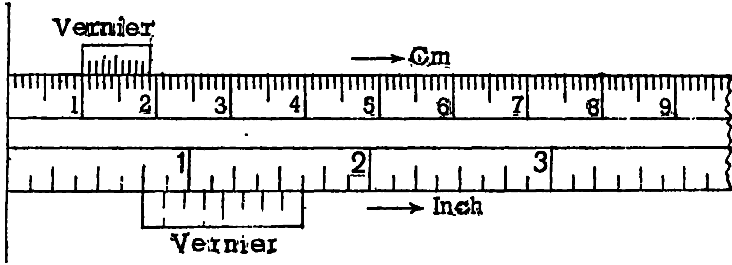
সুতরাং কার্যনীতি হইল এই যে, $(n\pm1)\ S=nv$; বা, $v=(n\pm1)\frac{S}{n}$।

একটি প্রধান স্কেলভাগ ও একটি ভার্নিয়ার স্কেল ভাগের পার্থক্য

$$=S-v=S-\left(\frac{n\pm1}{n}\right)S=\ \pm\frac{1}{n}\times S.$$

স্কেল দুইটির ভাগের মানের এই পার্থক্যকে ভার্নিয়ার ধ্রুবক (Vernier Constant) অথবা ভার্নিয়ারের নিম্নতম মাপ (Least Count) বলা হয়। ইহা অপেক্ষা ছোট মাপ ঐ ভার্নিয়ারের সাহায্যে সঠিকভাবে নির্ণয় করা সম্ভব নয়। অর্থাৎ প্রত্যেক ভার্নিয়ারেরই যান্ত্রিক সঠিকতা নির্দিষ্ট।

দ্রষ্টব্য ঃ সরল ভার্নিয়ারের ক্ষেত্রে ভার্নিয়ারের ধ্রুবক, মিলিমিটার বা সেন্টিমিটারের দশমিক ভগ্নাংশে (decimal fraction) অথবা ইঞ্চির সামান্য ভগ্নাংশে (vulgar fraction) প্রকাশ করা হয়। কৌণিক ভার্নিয়ারের (angular vernier) ক্ষেত্রে ভার্নিয়ার ধ্রুবক মিনিট অথবা সেকেণ্ডে লেখা হয় [অনুচ্ছেদ ৩৩]।

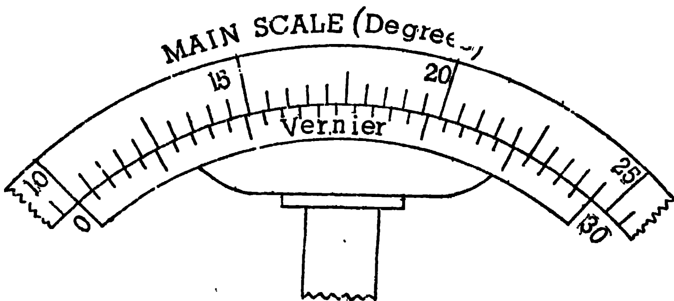


চিত্র ১০

দৃষ্টান্ত ঃ—(১) চিত্র ১০-এ ভার্নিয়ারসহ একটি স্কেল দেখান হইয়াছে।

(ক) প্রধান স্কেলটির উপরের ধার মেট্রিক পদ্ধতি অনুযায়ী সেন্টিমিটার ও মিলিমিটারে বিভক্ত। ইহার সহিত যুক্ত ভার্নিয়ারে 10 ঘর আছে। এই 10 ঘর প্রধান স্কেলের 9 ঘর বা 9 মি.মি.এর সমান।

(খ) প্রধান স্কেলের নীচের ধার বৃটিশ পদ্ধতি অনুযায়ী ইঞ্চি ও ইঞ্চিকে আট ভাগে বিভক্ত করা আছে। ইহার সহিত যুক্ত ভার্নিয়ারে 8 ঘর আছে। এই 8 ঘর প্রধান স্কেলের 7 ঘর বা $\frac{7}{8}$ ইঞ্চির সমান।



চিত্র ১১

(২) চিত্র ১১-তে একটি কৌণিক স্কেল ও উহার সহিত যুক্ত কৌণিক ভার্নিয়ার দেখান হইয়াছে। প্রধান স্কেলের সবচেয়ে ছোট ভাগ $=\frac{1}{2}°$। ভার্নিয়ারে 30টি ভাগ আছে। এই 30টি ভাগ প্রধান স্কেলের 29 ভাগের সমান।

ভার্নিয়ারের ঘরসংখ্যা প্রধান স্কেলের ঘরসংখ্যা অপেক্ষা ১ বেশী হইলে (অর্থাৎ ভার্নিয়ারের এক ভাগের মান প্রধান স্কেলের এক ভাগের মান অপেক্ষা ছোট হইলে) ভার্নিয়ারটিকে সাধারণ, ধন ($+ve$) বা অগ্র-নির্দেশক (forward reading) ভার্নিয়ার বলা হয়। এই ভার্নিয়ারই ব্যাপকভাবে সর্বত্র ব্যবহৃত হয়। এই ক্ষেত্রে n ভার্নিয়ার স্কেল ভাগ $=(n-1)$ প্রধান স্কেল ভাগ।

ভার্নিয়ারের ঘরসংখ্যা প্রধান স্কেলের ঘরসংখ্যা অপেক্ষা ১ কম হইলে (অর্থাৎ ভার্নিয়ারের এক ভাগের মান প্রধান স্কেলের এক ভাগের মান অপেক্ষা বড় হইলে) ভার্নিয়ারটিকে পশ্চাৎ-নির্দেশক (backward reading) বা ঋণ ($-ve$) ভার্নিয়ার বলা হয়। এই ভার্নিয়ার আবিষ্কৃত হইবার পর প্রথম প্রথম ইহা ব্যারোমিটারে (Barometer) লাগান হইত বলিয়া ইহাকে ব্যারোমেট্রিক (Barometric) ভার্নিয়ারও বলা হয়। এইরূপ ভার্নিয়ার আজকাল বড় বিশেষ আর ব্যবহৃত হয় না।

৩২। ভার্নিয়ার ব্যবহারের প্রণালী :—

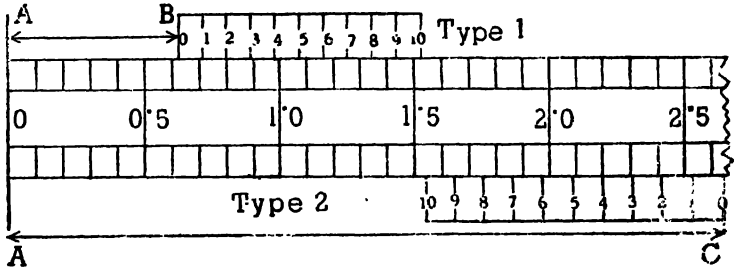
(ক) ধন বা অগ্র-নির্দেশক সরল ভার্নিয়ার (Positive or forward reading straight vernier).—

(১) ভার্নিয়ার ধ্রুবক নিম্নলিখিত পদ্ধতিতে বাহির কর—

প্রধান স্কেলের সর্বাপেক্ষা ছোট ভাগের মান নির্ণয় কর। মেট্রিক ভার্নিয়ারের ক্ষেত্রে ইহাকে সে.মি. বা মি.মি.-এ প্রকাশ কর। বৃটিশ ভার্নিয়ারের ক্ষেত্রে ইহাকে ইঞ্চির সামান্য ভগ্নাংশে ব্যক্ত কর। কৌণিক ভার্নিয়ারের ক্ষেত্রে ইহাকে সেকেণ্ড বা মিনিটে প্রকাশ কর। চিত্র ১২ (Type 1)-এ যে ভার্নিয়ার দেখান হইয়াছে তাহাতে প্রধান স্কেলের এক ভাগ $=1$ মি. মি. $=0\cdot1$ সে. মি. (চিত্র ১২-তে এক সেন্টিমিটারকে অনেক বড় করিয়া দেখান আছে)।

ভার্নিয়ারের ঘরসংখ্যা গুনিয়া লও। ভার্নিয়ারের 0 চিহ্ন প্রধান স্কেলের কোন দাগের সহিত সঠিকভাবে মিলাইয়া ধর। দেখিয়া লও ভার্নিয়ারের শেষ দাগ প্রধান স্কেলের কত ঘরের সমান। চিত্র ১২ (Type 1)-এ 10 ভার্নিয়ার ভাগ $=9$ প্রধান স্কেল ভাগ $=9$ মি.মি. ; অর্থাৎ, 1 ভার্নিয়ার ভাগ $=\frac{9}{10}$ স্কেলভাগ $=\frac{9}{10}$ মি.মি.।

এক প্রধান স্কেল ভাগ ও এক ভার্নিয়ার স্কেল ভাগের পার্থক্য কত বাহির কর। ইহাই ভার্নিয়ার ধ্রুবক।



চিত্র ১২

(২) দৈর্ঘ্য বাহির করিবার জন্য নিম্নলিখিত পদ্ধতি অনুসরণ কর :—

চিত্র ১২ (Type 1)-এ প্রদর্শিত উপায়ে AB বস্তুটিকে (যাহার দৈর্ঘ্য বাহির করিতে হইবে) ভার্নিয়ারের 0 প্রান্ত এবং প্রধান স্কেলের 0 প্রান্তের মধ্যে অনুভূমিক-ভাবে খুব সহজ চাপে ধর। ভার্নিয়ারের 0র ঠিক আগের দাগ পর্যন্ত প্রধান স্কেলের পাঠ লও (main scale reading)। লক্ষ্য করিতেছ ইহা 6 মিলিমিটার। তাহা হইলে ABর দৈর্ঘ্য 6 মি.মি. অপেক্ষা বেশী কিন্তু 7 মি.মি. অপেক্ষা কম। প্রধান স্কেলের 6 মি.মি. চিহ্ন ভার্নিয়ারের 0 চিহ্ন অপেক্ষা যতদূরে, ABর দৈর্ঘ্য 6 মি.মি. অপেক্ষা ততটুকুই বেশী।

উপরোক্ত অতিরিক্ত দৈর্ঘ্যটুকু পাইতে হইলে, খুঁজিয়া দেখ যে, ভার্নিয়ারের কোন-না-কোন দাগ প্রধান স্কেলের কোন-না-কোন দাগের সহিত মিলিয়া গিয়াছে। মনে রাখিও যে, এই মিল একেবারে ঠিক ঠিক না-ও হইতে পারে। সেক্ষেত্রে ভার্নিয়ারের কোন্ দাগ সবচেয়ে ভাল মিলিয়াছে তাহাই বাছিয়া লইতে হইবে। এক্ষেত্রে ভার্নিয়ারের দাগ 2, প্রধান স্কেলের একটি দাগের সহিত মিলিয়াছে। ভার্নিয়ারের এই দাগের সংখ্যাকে ভার্নিয়ার ধ্রুবক দিয়া গুণ করিলে উপরোক্ত অতিরিক্ত দৈর্ঘ্যটুকু পাওয়া যাইবে। প্রধান স্কেলের পাঠের সহিত এই অতিরিক্ত দৈর্ঘ্য যোগ দিলে, ABর প্রকৃত দৈর্ঘ্য জানা যাইবে। এই অতিরিক্ত দৈর্ঘ্য $=2\times0{\cdot}01$ সে.মি. $=0{\cdot}02$ সে.মি.।

সুতরাং AB বস্তুর দৈর্ঘ্য $=(0{\cdot}6+0{\cdot}02)$ সে.মি. $=0{\cdot}62$ সে.মি.।

(৩) নিম্নলিখিত উপায়ে তোমার ফল যাচাই কর—

AB বস্তুর দৈর্ঘ্য = প্রধান স্কেলের 8 ভাগ − ভার্নিয়ার স্কেলের 2 ভাগ

$$= \left\{ 8 \text{ মি.মি.} - \left(2 \times \frac{9}{10}\right) \text{ মি.মি.} \right\} = 0·62 \text{ সে.মি.।}$$

(খ) ঋণ বা পশ্চাৎ-নির্দেশক সরল ভার্নিয়ার (Negative or backward reading straight vernier).—

(১) ধন ভার্নিয়ারের পদ্ধতি অনুযায়ীই এই ভার্নিয়ারের ধ্রুবক বাহির করিতে হয়। অবশ্য, এক্ষেত্রে ভার্নিয়ারের ঘরসংখ্যা সমদৈর্ঘ্যের প্রধান স্কেলের ঘরসংখ্যা হইতে ১ কম হইবে। চিত্র ১২ (Type 2)-তে এইরূপ ভার্নিয়ার দেখান হইয়াছে। লক্ষ্য কর যে, ভার্নিয়ারের দাগগুলির সূচক-সংখ্যা প্রধান স্কেলের সংখ্যাগুলির বিপরীত দিকে বাড়িতে বাড়িতে গিয়াছে। অর্থাৎ ঋণ ভার্নিয়ারের সর্ব-দক্ষিণে হইল দাগ 0 ও সর্ববামে দাগ 10।

অতএব চিত্র ১২ (Type 2) অনুযায়ী,

1 প্রধান স্কেল ভাগ = 1 মি.মি. = 0·1 সে.মি.

10 ভার্নিয়ার ভাগ = 11 প্রধান স্কেল ভাগ।

সুতরাং 1 ভার্নিয়ার ভাগ = $\frac{11}{10}$ প্রধান স্কেল ভাগ।

অতএব ভার্নিয়ার ধ্রুবক = 1 ভার্নিয়ার ভাগ − 1 প্রধান স্কেল ভাগ = $\frac{11}{10} - 1$

= $\frac{1}{10}$ প্রধান স্কেল ভাগ = 0·01 সে.মি.।

(২) AC (চিত্র ১২) বস্তুর দৈর্ঘ্য এই ঋণ ভার্নিয়ার দ্বারা মাপিতে হইবে। A প্রান্ত প্রধান স্কেলের দাগ 0র সহিত ও C প্রান্ত ভার্নিয়ারের দাগ 0র সহিত মিলাইয়া ধর। ভার্নিয়ারের দাগ 0র ঠিক আগের প্রধান স্কেলের দাগ দেখ। এক্ষেত্রে তোমার পাঠ হইবে 2·6 সে.মি.। স্পষ্টতঃই ACর দৈর্ঘ্য 2·6 সে.মি. হইতে কিছু বেশী। প্রধান স্কেলের 2·6 সে.মি. দাগ ও ভার্নিয়ারের দাগ 0র মধ্যে যতটুকু দূরত্ব, ACর প্রকৃত দৈর্ঘ্য 2·6 সে.মি. হইতে ততটুকু বেশী। এখন ভার্নিয়ারের কোন্ দাগ প্রধান স্কেলের কোন্ দাগের সহিত মিলিয়া গিয়াছে তাহা খুঁজিয়া বাহির কর। এক্ষেত্রে ভার্নিয়ারের দাগ 4 (অর্থাৎ চতুর্থ দাগ) মিলিয়াছে। অতএব ভার্নিয়ারের দাগ 0 ও প্রধান স্কেলের দাগ 2·6-এর মধ্যের দূরত্ব = 4 × 0·01 সে.মি. = 0·04 সে.মি.। সুতরাং ACর দৈর্ঘ্য = 2·6 সে.মি. + 0·04 সে.মি. = 2·64 সে.মি.।

মন্তব্য ঃ ঋণ ভার্নিয়ারের দাগগুলির সংখ্যা বামে বাড়ে। যদি ডাইনে বাড়িত তবে ভার্নিয়ারের দাগ ও পরবর্তী প্রধান স্কেলের দাগের দূরত্ব ক্রমেই বাড়িত (ভার্নিয়ারের ভাগ প্রধান স্কেলের ভাগ অপেক্ষা বড় বলিয়া) এবং ভার্নিয়ারের কোন দাগই প্রধান স্কেলের কোন দাগের সহিত মিলিত না।

চিত্র ১২ হইতে বোঝা যায় যে, সাধারণ ধন ভার্নিয়ার দিয়া AC-র মত দীর্ঘ বস্তুর দৈর্ঘ্য মাপিতে গেলে ভার্নিয়ারের অধিকাংশ স্কেলের বাহিরে চলিয়া যাইত এবং দৈর্ঘ্য নির্ণয় করা অসম্ভব হইত। ধন ভার্নিয়ারের দাগ 10 প্রধান স্কেলের ডাইন প্রান্তে চলিয়া আসিলে ভার্নিয়ারের 0 ও প্রধান স্কেলের 0-র মধ্যে যতটুকু দূরত্ব থাকে, তাহা অপেক্ষা অধিক দৈর্ঘ্য, ধন ভার্নিয়ার দিয়া মাপা সম্ভব নয়। ঋণ ভার্নিয়ার স্কেলের ভিতরের দিকে থাকে বলিয়া, ইহা দ্বারা সহজেই প্রধান স্কেলের সমান দৈর্ঘ্য মাপা চলে। আবার, ভার্নিয়ারের দৈর্ঘ্য অপেক্ষা ছোট দৈর্ঘ্য মাপার কাজে ঋণ ভার্নিয়ার অচল। সেক্ষেত্রে ঋণ ভার্নিয়ারের দাগ 10, স্কেলের শূন্যে পৌঁছিয়া গেলে, বস্তুর ডান প্রান্ত ভার্নিয়ারের দাগ 0-র বামে থাকিয়া যাইবে। ধন ভার্নিয়ার এরূপ ছোট দৈর্ঘ্য মাপার কাজে উপযুক্ত।

দ্রষ্টব্য ঃ সকল ভার্নিয়ারই অবিকল এক রকম হয় না। ভার্নিয়ারে কত ভাগ আছে ও তাহা প্রধান স্কেলের কত ভাগের সহিত মিলিবে, ভার্নিয়ার ধ্রুবক কত, তাহা এক এক ভার্নিয়ারের ক্ষেত্রে এক এক রকম হইতে পারে। তবে কার্যনীতি ও ব্যবহার পদ্ধতি সর্বক্ষেত্রেই এক।

৩৩। কোণ ও উহার পরিমাপ ঃ—

আপন ধ্রুবাক্ষের (polar axis) চারিদিকে পৃথিবীর আবর্তন বা সূর্যের চারিদিকে পৃথিবীর পরিক্রমা, এই ধরণের গতিকে বুঝিবার চেষ্টা হইতে মানুষ কোণের ধারণা পাইয়াছে। আবর্তন-পথের কোন চাপ (arc) এবং বৃত্তীয় পথের ব্যাসার্ধের (radius) অনুপাত হইল বৃত্তীয় মাপের (in circular measure) একটি কোণ। এইজন্য আবর্তন গতিকে প্রতি সেকেণ্ডে অতিক্রান্ত বৃত্তীয় মাপের কোণ দিয়া প্রকাশ করা হয়। কোণের একককে বৃত্তীয় মাপে রেডিয়ান (radian) বলা হয়।

যে-কোন বৃত্তের ব্যাসার্ধের সম দৈর্ঘ্যের বৃত্তীয় চাপ কেন্দ্রে যে কোণ সৃষ্টি করে তাহাকে 1 রেডিয়ান বলা হয়।

কোন বৃত্তের পরিধিকে 360 ভাগে বিভক্ত করিলে 1 ভাগের চাপ বৃত্তটির কেন্দ্রে

যে কোণ সৃষ্টি করে তাহাকে 1° (এক ডিগ্রী) কোণ বলে। অতএব বৃত্তের পরিধি বৃত্তের কেন্দ্রে মোট 360 ডিগ্রী (360°) কোণ উৎপন্ন করে। অর্ধ-বৃত্ত কেন্দ্রে 180° কোণ উৎপন্ন করে। বৃত্তের এক-চতুর্থাংশ কেন্দ্রে সৃষ্টি করে 90° বা এক সমকোণ। ষষ্ঠিক পদ্ধতিতে (sexagesimal measure) 1°কে নিম্নলিখিতভাবে বিভক্ত করা হয়:—

এক ডিগ্রীর গুণিতাংশ ও ভগ্নাংশ

1 সমকোণ = 90 ডিগ্রী = 90°

1 ডিগ্রী (1°) = 60 মিনিট = $60'$

1 মিনিট ($1'$) = 60 সেকেণ্ড = $60''$

কোন কোণের ষষ্ঠিক ও বৃত্তীয় মানের পারস্পরিক সম্বন্ধ

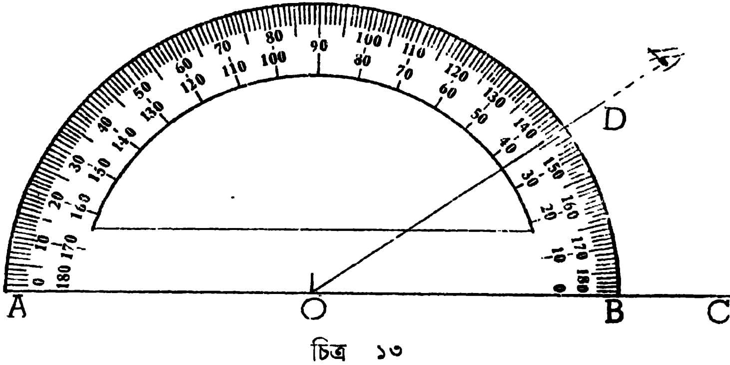
বৃত্তের কেন্দ্রে মোট কোণের পরিমাণ $= \frac{\text{পরিধি}}{\text{ব্যাসার্ধ}}$ রেডিয়ান $= \frac{2\pi r}{r}$ রেডিয়ান, [r বৃত্তের ব্যাসার্ধ] $= 2\pi$ রেডিয়ান। কিন্তু বৃত্তের কেন্দ্রে মোট কোণের ষষ্ঠিক পরিমাণ $= 360^\circ$।

সুতরাং 1 রেডিয়ান $= \frac{360^\circ}{2\pi} = \left(\frac{360^\circ}{2 \times 3{\cdot}1415}\right) = 57^\circ\ 17'\ 44{\cdot}8''$।

কোণের অংকন-পদ্ধতি ও মান-পরিমাপের পদ্ধতি—

কোণ আঁকিবার ও মাপিবার সহজ যন্ত্র হইল চাঁদা বা প্রোট্র্যাক্টর (protractor)। ইহা কোন ধাতু, কাঠ, শক্ত বোর্ড, গাটাপার্চা, ইত্যাদির কোন পাত দিয়া তৈয়ারী করা হয়। ইহার আকৃতি অর্ধ-বৃত্তাকার। ইহার পরিধিকে 180টি সমান ভাগে বিভক্ত করা হয়। অর্থাৎ প্রত্যেক ভাগ 1 ডিগ্রী। নীচের সরল ধার AB হইল বৃত্তটির ব্যাস (চিত্র ১৩)। O ইহার কেন্দ্র। ভাল চাঁদার প্রতি ডিগ্রীকে আবার 2 বা 3টি সমান ভাগে ভাগ করিয়া অর্ধ-ডিগ্রী বা এক-তৃতীয়াংশ ডিগ্রী নির্দেশ করা হয়। এইরূপ চাঁদার সাহায্যেই কোণ অংকন করা বা মাপা হয়। পরিধি যত বড় করিয়া লওয়া যাইবে ভাগ ততই সূক্ষ্ম করা সম্ভব হইবে। $\frac{1}{4}^\circ$ পর্যন্ত বিভাগ সহজেই

করা যায়। ইহার পর চোখের আন্দাজের সাহায্যে $\frac{1}{3}°$-এর পাঁচ ভাগের এক ভাগ অর্থাৎ $\frac{1}{15}°$ পর্যন্তও আঁকা বা মাপা যায়।



চিত্র ১৩

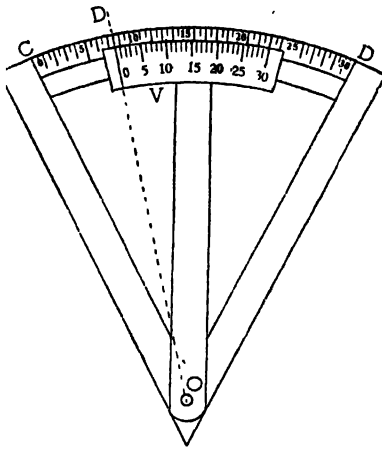
(১) কোণ-অংকন পদ্ধতি—মনে কর, 36°র সমান একটি কোণ অংকন করিতে হইবে। সাদা কাগজের উপর প্রথমতঃ AC (চিত্র ১৩) একটি সরলরেখা টান। চাঁদাটি কাগজের উপর রাখ এবং ইহার নীচের সরলধার (AB) অংকিত সরলরেখা ACর সহিত মিলাইয়া ধর। চাঁদার কেন্দ্র O-তে অংকিত সরলরেখা ACর উপর একটি বিন্দুচিহ্ন দেও। তারপর বৃত্তস্কেলে 36° পাঠ যেখানে হইবে সেখানে (চাঁদার পরিধির যত কাছাকাছি সম্ভব) দ্বিতীয় একটি বিন্দুচিহ্ন দেও। এই বিন্দুচিহ্নটি চাঁদার কেন্দ্রস্থ বিন্দুচিহ্ন Oর সহিত একটি সরলরেখা (OD) দ্বারা যোগ কর। সরলরেখাদ্বয় (CO এবং OD) O বিন্দুতে যে কোণ উৎপন্ন করিল স্পষ্টই বুঝিতেছ তাহা 36°-র সমান। এই পদ্ধতিতে চাঁদার সাহায্যে 180° পর্যন্ত যে-কোন কোণ অংকন সম্ভব।

(২) কোণ-পরিমাপ পদ্ধতি—মনে কর, ∠COD পরিমাপ করিতে হইবে। চাঁদাটিকে এমনভাবে বসাও যেন উহার কেন্দ্র O ∠CODর কৌণিক শীর্ষের সহিত ঠিক ঠিক মিলিয়া যায় এবং চাঁদার নীচের সরলধার AB, কোণটির একটি বাহুর, ধর COর, সহিত একই সরলরেখায় পড়ে। কোণটির অপর বাহু OD তখন চাঁদার বৃত্তস্কেলের তলা দিয়া চলিয়া যাইবে (বাহুটির দৈর্ঘ্য কম হইলে বাহুর সরলরেখা বরাবর ইহাকে বর্ধিত করিয়া লইতে হইবে)। চাঁদার বৃত্তস্কেলের যে দাগের তলা দিয়া OD বাহু যাইবে তাহার পাঠই নির্ণেয় কোণ CODর পরিমাপ। চিত্র ১৩-তে লক্ষ্য করিয়া দেখ নির্ণেয় কোণ CODর পরিমাপ হইতেছে 36°।

কৌণিক ভার্নিয়ার (Angular Vernier) এবং উহার ব্যবহার ক্ষেত্র :—

সাধারণ বৃত্তস্কেল, অথবা সাধারণ চাঁদাতে $(\frac{1}{2})°$ বা $(\frac{1}{3})°$ অন্তর অন্তর দাগ কাটা থাকে।

বৈজ্ঞানিক বিষয়ের বহু ক্ষেত্রে কোণ পরিমাপ $(\frac{1}{2})^\circ$ বা $(\frac{1}{3})^\circ$ হইতেও সূক্ষ্মতরভাবে করা দরকার হয়—যেমন স্পেকট্রোমিটার (spectrometer) যন্ত্র, দিক্‌-নির্ণয় যন্ত্র (direction finder), ইত্যাদি নানারকম যন্ত্রের বেলায়। এইরূপ ক্ষেত্রে কেবলমাত্র সাধারণ বৃত্তস্কেল বা সাধারণ চাঁদার দ্বারা কাজ চলে না। একটি উপযোগী কৌণিক ভার্নিয়ার সাধারণ বৃত্তস্কেলের ধার ধরিয়া লাগাইয়া লইলে কোণ পরিমাপ সূক্ষ্মতরভাবে করা সম্ভব হয়। কৌণিক ভার্নিয়ারের নিম্নতম মাপ (Vernier Constant) যত ক্ষুদ্র হইবে কোণের পরিমাপ তত সূক্ষ্মভাবে করা সম্ভব হইবে।



চিত্র ১৪—কৌণিক ভার্নিয়ার

ধন ভার্নিয়ারের কার্যনীতি অবলম্বনেই কৌণিক ভার্নিয়ার প্রস্তুত করা হয়। ইহাতে সাধারণতঃ ধাতুর পাতের উপর অংকিত একটি মূল বৃত্তস্কেল (CD) থাকে (চিত্র ১৪)। সকেন্দ্রিক আর-একটি ছোট বৃত্তস্কেল (V) (যাহাকে বলা হয় কৌণিক ভার্নিয়ার) মূল স্কেলের ধার ধরিয়া বসান হয়। এই দুইটি স্কেলের একটিকে শক্ত করিয়া বাঁধা হয় এবং অপরটিকে ইহার ধার বরাবর চালনা করা হয়। সাধারণ বিন্দু Oকে কেন্দ্র করিয়া উভয় স্কেলই তৈয়ারী।

ব্যবহার-পদ্ধতি—(১) প্রথমতঃ ভার্নিয়ারের নিম্নতম মাপ (Vernier Constant) বাহির করিতে হয়। ইহার জন্য মূল বৃত্তস্কেলের ক্ষুদ্রতম ঘরের মান কত তাহা জানিতে হয়। মনে কর ইহা হইল $(\frac{1}{2})^\circ$। তারপর ভার্নিয়ারের উপর কতকগুলি ঘর আছে গুণিয়া দেখ। মনে কর, এই ঘরসংখ্যা হইল 30। ভার্নিয়ার স্কেলটিকে আস্তে আস্তে সরাইয়া মূল বৃত্তস্কেলের O দাগের সহিত ভার্নিয়ারের O দাগ এক কর। এবার দেখ ভার্নিয়ারের মোট ঘরগুলি মূল বৃত্তস্কেলের কত ঘরের সমান। ধরা যাক্, ভার্নিয়ারের 30 ঘর=মূল বৃত্তস্কেলের 29 ঘর$=(29\times\frac{1}{2})^\circ$। তাহা হইলে, 1 ভার্নিয়ার ঘর$=[\frac{29}{30}\times\frac{1}{2}]^\circ=(\frac{29}{60})^\circ$।

সুতরাং, ভার্নিয়ারের নিম্নতম মাপ (V. C.)=(মূল বৃত্তস্কেলের 1 ঘরের মান) —(ভার্নিয়ারের 1 ঘরের মান)$=(\frac{1}{2})^\circ-(\frac{29}{60})^\circ=(\frac{1}{60})^\circ=1'$.

(২) নিম্নপদ্ধতিতে নির্ণেয় কোণ মাপা যাইবে —

ধরা যাক্, চিত্র ১৪-তে OD′ যে সরলরেখা দেখান আছে ঐ বরাবর কোণের পাঠ মূল বৃত্তস্কেল CDর উপর লইতে হইবে। ভার্নিয়ার V-কে ধীরে ধীরে যত্নসহকারে সরাইয়া আনিয়া ভার্নিয়ারের 0 দাগ OD′ দিকের সহিত মিলাও। এমতাবস্থার ভার্নিয়ারের 0-দাগ মূল বৃত্তস্কেল CDর কোন দাগের সহিত মিলিয়া গেলে OD′ দিকের পাঠ সরাসরিই পাওয়া গেল এবং ভার্নিয়ারের পাঠ লওয়ার আর প্রয়োজন থাকিবে না। যদি ভার্নিয়ারের 0-দাগ মূলস্কেলের কোন দাগের সহিত না মিলে, তবে মূল বৃত্তস্কেলের সন্নিহিত পূর্ববর্তী পাঠটি লও। ধর যেন, মূলস্কেলের এই পাঠ হইল M°। এবার ভার্নিয়ারের যে দাগটি মূলস্কেলের কোন দাগের সহিত সর্বাপেক্ষা ভালভাবে মিলিয়াছে তাহার সংখ্যাটি লও। ভার্নিয়ারের এই ঘরের নম্বর যদি P হয়, তবে OD′ দিকের কৌণিক অবস্থিতি হইবে, M°+P×(Vernier Constant)।

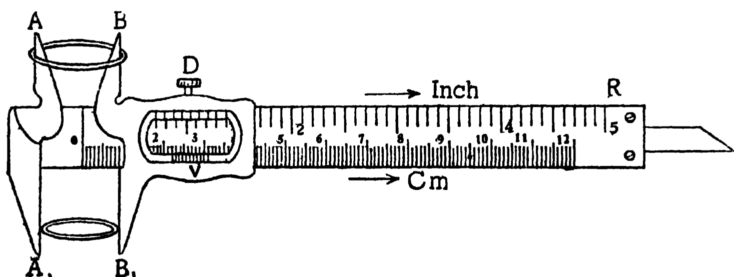
৩৪। **ক্ষুদ্র দৈর্ঘ্যের পরিমাপ :—**

সাধারণ স্কেল দ্বারা ক্ষুদ্র দৈর্ঘ্যের মাপ নেওয়া হইলে শতকরা ভুল বড় বেশী হয়। অনেক ক্ষেত্রে আবার সাধারণ সরল স্কেল ব্যবহার করার সুবিধাও হয় না। স্লাইড ক্যালিপার (slide callipers), স্ক্রু-গেজ (screw-gauge), স্ফেরোমিটার (sphero-meter), প্রভৃতি যন্ত্র এইসব ক্ষেত্রে অবস্থা বিশেষে ব্যবহার করিতে হয়। কোন্ যন্ত্রটি ব্যবহার করিবে তাহা নির্ভর করিবে দৈর্ঘ্যটি কি ভাবে অবস্থিত, বা তাহা কতটা সঠিকভাবে মাপিতে হইবে তাহার বিবেচনা উপর।

৩৫। **স্লাইড ক্যালিপার** (Slide callipers) :—

এই যন্ত্রতে আছে একটি প্রধান বা মূল সরল স্কেল এবং উহার সহিত সংলগ্ন একটি সাহায্যকারী ভার্নিয়ার (চিত্র ১৫)। ভার্নিয়ারটি মূল সরল স্কেলের উপর দিয়া প্রয়োজনমত ডাইনে-বামে চালনা করা যায়। সমপ্রস্থের কয়েক ইঞ্চি লম্বা একটি ইস্পাতের পুরু পাতের উপর মূল সরল স্কেলটি আঁকা হয়। স্কেলটিকে উপরের ধার ধরিয়া ইঞ্চি ও তৎভগ্নাংশে, আর নিম্ন ধার বরাবর সেন্টিমিটার ও মিলিমিটারে বিভক্ত করা হয়। স্কেলটির বাম প্রান্তে একটি স্থির বাহু (fixed jaw) আছে। ইহার সরল ধার AA_1 স্কেলের সহিত ঠিক লম্বভাবে থাকে। ইস্পাতের নির্মিত বিশেষ ধরণের একটি খোলের উপর দুই ধারের স্কেলের জন্য দুইটি পৃথক সরল ভার্নিয়ার আঁকা হয়। এই খোলটি পরান থাকে মূল সরল স্কেলের উপর। নিম্নস্থ মূল স্কেল দেখার জন্য খোলটির ঐ পৃষ্ঠের মধ্যস্থল ফাঁকা রাখা হয়।

ভার্নিয়ার স্কেল ও মূল স্কেল পরস্পর সমান্তরাল থাকে। এই খোলটি একটি চলন বাহু, প্রয়োজনমত ইহাকে ডাইনে বামে সরান যায়। একটি নাটের (D) সাহায্যে চলন-বাহুটিকে মূল স্কেলের বাটের যে-কোন স্থানে আঁটিয়া দেওয়া যায়। বাহুটির বাম প্রান্তের সরল ধার (BB_1) মূল সরল স্কেল (R)-এর সহিত লম্বভাবে



চিত্র ১৫—স্লাইড ক্যালিপার

থাকে। খোলটি বামে সরাইতে সরাইতে যখন BB_1 ধার AA_1 ধারকে স্পর্শ করে, মূলস্কেল এমনভাবে চিহ্নিত করা হয় যে তখন ভার্নিয়ারের 0-দাগ মূল স্কেলের 0-দাগের সহিত ঠিক ঠিক মিলিয়া যায়। যাহাতে ভার্নিয়ারের খোলটি সর্বদা মূলস্কেলের উপর দিয়া সরলরেখায় আনাগোনা করিতে পারে, ঐ জন্য খোলটির পশ্চাৎ পৃষ্ঠে একটি সরল হুড়কা লাগান হয়। এই হুড়কাটি মূলস্কেলের সমান্তরাল একটি সরল খাঁজের মধ্য দিয়া চলাচল করে।

ব্যবহার-পদ্ধতি—যে বস্তুটির দৈর্ঘ্য মাপিতে হইবে উহার এক প্রান্ত স্থির বাহুর AA_1 ধারের সহিত মিলাইয়া ধর। এখন ভার্নিয়ারের খোলটিকে ধীরে ধীরে বামে সরাইয়া আনিয়া বস্তুটির অপর প্রান্তের সহিত উহার সরল ধার BB_1 মিলাইয়া দাও। এই অবস্থায় নাট D দ্বারা আঁটিয়া দেও যাহাতে খোলটি কোন রকমে সরিয়া না যায়। **নির্ণেয় দৈর্ঘ্যের মাপ হইবে ঃ** [(মূল স্কেলের পাঠ অর্থাৎ ভার্নিয়ারের 0-দাগের সন্নিহিত পূর্ববর্তী দাগের পাঠ) + (ভার্নিয়ারের পাঠ, অর্থাৎ ভার্নিয়ারের যে দাগ সর্বাপেক্ষা ভালভাবে মূল স্কেলের কোন দাগের সহিত মিলিয়াছে তাহার সংখ্যা × ভার্নিয়ারের নিম্নতম মাপ)]।

দ্রষ্টব্য ঃ খাড়া দুই বাহুর নিম্ন ভাগের মধ্যে অর্থাৎ A_1 এবং B_1 এর মধ্যে বসাইয়া কোন বস্তুর বহির্ব্যাস,—যথা কোন রড, রিং, বা চাকতির বহির্ব্যাস, ছোটখাট বস্তুর

সামান্য দৈর্ঘ্য, প্রস্থ বা উচ্চতা ইত্যাদি মাপিতে হয়। কোন চোঙ, রিং বা নলের অন্তর্ব্যাস মাপিতে হইলে খাড়া বাহুদ্বয়ের উপরের দুই ধার (A এবং B) ঐ বস্তুর ভিতর গলাইয়া দিয়া দুই ধারের সহিত মিলাইয়া ধরিতে হয়। চিত্র ১৫·তে একটি রিং-এর ঐ দুই রকমের মাপ লওয়ার কৌশল দেখান হইয়াছে।

শূন্যের ভুল বা যন্ত্রগত ভুল*—পূর্বে বলা হইয়াছে যে, AA_1 সরল ধারের সহিত BB_1 সরল ধার (চিত্র ১৫) মিলাইয়া ধরিলে, ভার্নিয়ারের 0-দাগ মূলস্কেলের 0-দাগের সহিত মিলিবে যন্ত্রটিকে এইভাবে তৈয়ারী করার কথা। প্রকৃতপক্ষে যন্ত্রে যদি যথাযথ এইরূপ না হয় তবে যে ভুল দেখা দেয় তাহাকে যন্ত্রের ভুল বা শূন্যের ভুল বলা হয়। স্পষ্টতঃই এইরূপ যন্ত্রে তাহা হইলে যে ভুল হইবে তাহার পরিমাণ হইবে AA_1 এবং BB_1 পরস্পর সংলগ্ন অবস্থায় মূল স্কেলের 0-দাগ হইতে ভার্নিয়ারের 0-দাগের দূরত্বের সমান। এই ভুলকে ঋণজাতীয় (negative) বলা হয় যখন যন্ত্রে BB_1 ধারকে AA_1 ধারের সহিত স্পর্শ করাইলে ভার্নিয়ারের 0-দাগ মূল স্কেলের 0-দাগের বামে পড়ে। এই ভুল সংশোধন করিতে হইলে ভুলের মান লব্ধ পরিমাপের মানের সহিত যোগ করিতে হইবে, অর্থাৎ সংক্ষেপতঃ বলিতে গেলে, সংশোধন হইবে ধনজাতীয়। বিপরীতক্ষেত্রে, যন্ত্রের ভুল হইবে ধনজাতীয় (positive এবং সংশোধন ঋণজাতীয়) যখন AA_1 এবং BB_1 মিলিত অবস্থায় ভার্নিয়ারের 0-দাগ থাকিবে মূল স্কেলের 0-দাগের ডাইন দিকে।

সুতরাং দৈর্ঘ্যের সংশোধিত মাপ={(লব্ধ দৈর্ঘ্য, অর্থাৎ মূল স্কেলের পাঠ+ভার্নিয়ার স্কেলের পাঠ)−যন্ত্রের ভুল }, যন্ত্রের ভুল ঋণ বা ধন যাহাই হউক না কেন।

Exercises

1. What is parallax error ? How is it generally avoided ?

2. Explain the principle of a straight vernier. What is vernier constant and what is its physical meaning ?

3. What do you mean by the instrumental error of a scale provided with a vernier ? What is it due to ?

4. Is the reading of a vernier correct upto any limit ? If there is a limit, what is it ?

5. Define a radian. What is a radian equal to in degrees ? How is π radians equal to 180° ?

---

* যে সমুদয় যন্ত্রে দুই স্কেলের পাঠের উপর পরিমাপের মান নির্ভর করে, তাহাতে যন্ত্রগত ভুল বা শূন্যের ভুল সর্বক্ষেত্রেই থাকার সম্ভাবনা থাকে।

6. Does the angular vernier act on a different principle from that of a straight vernier? Work out the vernier constant of an angular vernier from the following data: One main scale div.$=\left(\frac{1}{2}\right)^{\circ}$. 60 vernier div.=59 main scale div. [উত্তর : 30″]

7. Find the vernier constant of a slide callipers from the following data: 1 main scale div.=1·0 mm.: 10 div. of vernier=9 main scale div.

[উত্তর : 0·1 মি.মি.]

8. Find the vernier constant of a slide callipers from the following data: Each inch part of the main scale is divided into 16 equal parts. 8 div. of the vernier=7 div. of the subdivided main scale. [উত্তর : $\frac{1}{128}$ ইঞ্চি]

9. A scale is provided with a vernier. One div. of the scale=0·5 mm. On examination it is found that 20 divisions of the vernier equal 38 divisions of the main scale. Find the vernier constant.

[**Hints:** Imagine 2 divisions of the main scale as one division. Then the value of one such imagined division will be equal to 1 mm.]

[উত্তর : 0·05 মি.মি.]

৩৬। ক্ষেত্রফল ও আয়তন :—

(ক) ক্ষেত্রফলের একক.—

মেট্রিক (সি.জি.এস্.) পদ্ধতি—এক বর্গ সেন্টিমিটার (বর্গ সে.মি.)

বৃটিশ (এফ্.পি.এস্.) পদ্ধতি—এক বর্গফুট। সাধারণ লব্ধ একক—এক বর্গ ইঞ্চি।

ঋজুরেখ সমতল ক্ষেত্রের ক্ষেত্রফল (area of plane figures bounded by straight lines)—

(১) বর্গক্ষেত্র (square)=(যে-কোন একটি বাহুর দৈর্ঘ্য)^2।

(২) আয়তক্ষেত্র (rectangle)=দৈর্ঘ্য × প্রস্থ।

(৩) সামান্তরিক ক্ষেত্র (parallelogram)=ভূমিরেখার দৈর্ঘ্য × উচ্চতা।

(৪) ত্রিভুজ (triangle)=$\frac{1}{2}$ × ভূমি × উচ্চতা।

(৫) দ্বিসমান্তর চতুর্ভুজ বা ট্র্যাপিজিয়াম (trapezium)=$\frac{1}{2}$ × (সমান্তরাল বাহুদ্বয়ের দৈর্ঘ্যের যোগফল) × উচ্চতা।

(৬) বহুভুজ ক্ষেত্র (polygon)—একটি কৌণিক বিন্দুকে অন্যান্য কৌণিক বিন্দুর সহিত যোগ করিয়া বহুভুজটিকে যে কয়টি ত্রিভুজে ভাগ করা যায়, তাহাদের ক্ষেত্রফলের যোগফল (ত্রিভুজের ক্ষেত্রফল কত তাহা পূর্বে বলা হইয়াছে)।

বক্ররেখ ক্ষেত্রের (plane figures bounded by curved lines) বা **বক্রপৃষ্ঠ ক্ষেত্রের** (curved surfaces] **ক্ষেত্রফল—**

(১) বৃত্ত $= \pi \times$ (ব্যাসার্ধ $)^2$; $\pi = 3{\cdot}14$ ।

(২) উপবৃত্ত $= \pi \times$ (অর্ধ-পরাক্ষ) $\times$ (অর্ধ-উপাক্ষ)

[$\pi \times$ (semi-major axis) $\times$ semi-minor axis)]

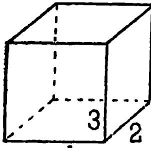
(৩) গোলকের পৃষ্ঠ $= 4 \times \pi \times$ (ব্যাসার্ধ $)^2$ ।

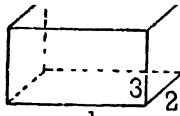
(৪) ফাঁপা চোঙের পৃষ্ঠ $= 2 \times \pi \times$ ব্যাসার্ধ $\times$ চোঙের দৈর্ঘ্য ।

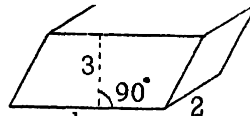
(খ) আয়তনের একক.—

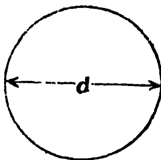
মেট্রিক (সি.জি.এস্.) পদ্ধতি—এক ঘন সেণ্টিমিটার।

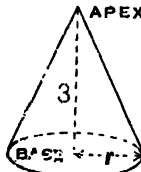
[লব্ধ একক (বড়) = 1 লিটার = 1000 ঘন সেণ্টিমিটার = 10^3 ঘন সে.মি. ।]

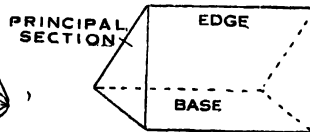


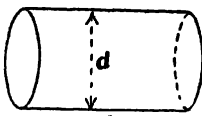


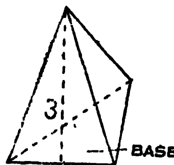


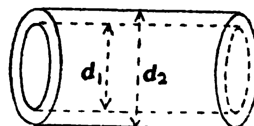












চিত্র ১৬—কয়েকটি নির্দিষ্ট আকারের কঠিন বস্তুর আয়তন

এফ্.পি.এস্. পদ্ধতি—এক ঘনফুট (1 ফুট^3); [সাধারণ লব্ধ একক—এক ঘন ইঞ্চি (1 ইঞ্চি^{3})।

[চিত্র ১৬ দেখ। দৈর্ঘ্য 1 দিয়া, প্রস্থ 2 দিয়া এবং উচ্চতা 3 দিয়া চিহ্নিত হইয়াছে]

(i) ঘনক (cube)=দৈর্ঘ্য^3 ; এখানে দৈর্ঘ্য=প্রস্থ=উচ্চতা

(ii) ঘন আয়তক্ষেত্রিক (rectangular solid)=দৈর্ঘ্য × প্রস্থ × উচ্চতা

(iii) ঘন সামান্তরিক (parallelepiped)=দৈর্ঘ্য × প্রস্থ × উচ্চতা (length × breadth × height)

(iv) গোলক (sphere)=$\frac{4}{3}\times\pi\times$(ব্যাসার্ধ)^3 ; ব্যাসার্ধ=ব্যাস ÷ 2

(v) কউন বা শঙ্কু (cone)=$\frac{1}{3}\times\pi\times$(ব্যাসার্ধ)^2 × উচ্চতা

[ভূমিতল বৃত্তাকার হইলে]

(vi) প্রিজম (prism)=প্রধান ছেদের ক্ষেত্রফল × দৈর্ঘ্য

(vii) নিরেট চোঙ (solid cylinder)=$\frac{\pi\times(\text{ব্যাস})^2}{4}$ × দৈর্ঘ্য

[প্রস্থচ্ছেদ বৃত্তীয় হইলে]

(viii) পিরামিড (pyramid)=$\frac{1}{3}$ × ভূমিতলের ক্ষেত্রফল × উচ্চতা

(ix) ফাঁপা চোঙ (hollow cylinder)=$\frac{\pi}{4}$ (বহির্ব্যাস^2 − অন্তর্ব্যাস^2) × দৈর্ঘ্য।

৩৭। নিয়মিত আকারবিশিষ্ট বস্তুর ক্ষেত্রফল বা আয়তন মাপিবার পদ্ধতি ঃ—এক বা একাধিক দৈর্ঘ্যের মাপ হইতে এইরূপ বস্তুর ক্ষেত্রফল বা আয়তন সঙ্কেতসূত্র (formula) প্রয়োগ করিয়া বাহির করা যায়। ক্ষেত্রফল বা আয়তন বাহির করিতে যেসব দৈর্ঘ্যের প্রয়োজন, সেগুলি কয়েক ইঞ্চি বা কয়েক সেণ্টিমিটার হইলে অর্ধ-মিটার স্কেল ব্যবহার করা যাইবে। স্লাইড ক্যালিপার ব্যবহার করিলে অবশ্য ফল অধিকতর সঠিক হইবে।

Exercises

1. You are given a marble ball. Explain how you will proceed to determine its volume by using a slide callipers.

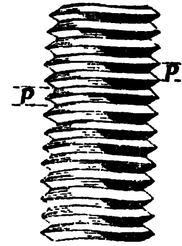
2. You are required to know the thickness of the wall of a glass tube of which the inner bore has a diameter of the order of 1″. A slide callipers is on your table. Explain how you will proceed.

3. You are given a slide callipers and asked to measure the volume of a rupee coin. Explain how you will do it.

৩৮। মাইক্রোমিটার স্ক্রু গেজের কার্যনীতি (The principle of a micrometer screw gauge) :—

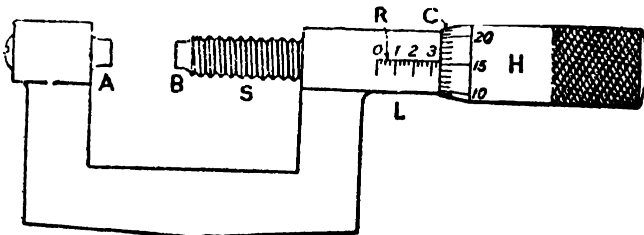
নিখুঁতভাবে কাটা একটি স্ক্রুকে যদি উহার নাটের (nut) মধ্যে নির্দিষ্ট কোণ পরিমাণ ঘুরান হয়, তবে স্ক্রুটির অগ্রবিন্দু একটি নির্দিষ্ট দূরত্ব পর্যন্ত সামনে (বা পিছনে) যাইবে। এক পাক বা 360° ঘুরাইলে স্ক্রুটির অগ্র বা পশ্চাৎ গতির পথের দৈর্ঘ্য সর্বদাই এক হইবে। এই পথটুকুর দৈর্ঘ্যকেই স্ক্রু-র পিচ্ (pitch) বলা হয়। সহজ করিয়া বলা যায় যে, নাটের অভ্যন্তরস্থ স্ক্রু এক পাক ঘুরাইলে উহা যে পথ অতিক্রম করে, ঐ দৈর্ঘ্য হইল স্ক্রুর পিচ্। এই পিচ্ স্ক্রুটির যে-কোন প্যাঁচের এক বিন্দু হইতে ঠিক পরবর্তী প্যাঁচের বিপরীত বিন্দুর দূরত্বের সমান। চিত্র ১৭-তে এই পিচ্‌কে p দিয়া নির্দেশ করা হইয়াছে।

(ক) **স্ক্রু গেজ** (screw gauge).—এই যন্ত্রকে সাধারণতঃ মাইক্রোমিটার স্ক্রুগেজ বলা হয়। কোন পাতের বেধ বা তারের ব্যাস বা এই ধরণের ছোট ছোট দৈর্ঘ্য সঠিকভাবে মাপিবার জন্যে এই যন্ত্র ব্যবহার করা হয়। চিত্র ১৮-তে এইরূপ একটি যন্ত্র দেখান হইয়াছে।



চিত্র ১৭—স্ক্রু-র পিচ্ (p)।

ইহাতে ধাতুনির্মিত U-আকারের অংশটি হইল সর্বাপেক্ষা ভারী। U-র খাড়া দুই বাহুর মাথায় লম্বভাবে দুইটি দণ্ড আছে। এই উভয় দণ্ডই ভিতরে ফাঁপা এবং ইহাদের অক্ষ একই সরলরেখায় অবস্থিত। বাম দণ্ডটির ভিতর দিয়া স্থায়িভাবে একটি পিন সাঁটা আছে। পিনটির ডাইন প্রান্তের পৃষ্ঠ (A) সমতল এবং অক্ষের সহিত লম্ব। ডাইন দণ্ডটির ভিতরে



চিত্র ১৮—একটি স্ক্রু গেজ।

প্যাঁচ কাটা আছে। ঐ প্যাঁচের মধ্য দিয়া একটি স্ক্রু (S) চলাচল করিতে পারে। স্ক্রুটির বাম প্রান্তের পৃষ্ঠ (B) সমতল এবং অক্ষের সহিত লম্ব। ডাইন দণ্ডটির বহিপৃষ্ঠে

স্ক্রুটির অক্ষের সমান্তরাল একটি সরল ভূমিরেখা (R) অঙ্কিত আছে। এই রেখার উপর একটি সেণ্টিমিটার-মিলিমিটার স্কেল আঁকা থাকে। ইহাকে প্রধান স্কেল বা পিচ্ স্কেল বলে। স্ক্রু S ঘুরাইলে উহা নাটের মধ্য দিয়া সামনে বা পিছনে সোজা লাইনে চলে। স্ক্রুর কাণ্ডের ডাইন প্রান্তে একটি শির, H (screw head) লাগান আছে। এই শিরটি U-র ডাইন বাহুর দণ্ডের উপর টুপির মত আছে। ইহা ধরিয়া স্ক্রু ঘুরাইতে হয়।* স্ক্রু ঘুরান হইলে এই শিরের বাম দিকের ধার প্রধান স্কেলের ভূমিরেখার উপর দিয়া ঘুরিতে ঘুরিতে সামনে চলে (বা পিছনে হাটে)। এই ধারের উপর একটি বৃত্তীয় স্কেল (C) আঁকা আছে। ইহা সাধারণতঃ 50 বা 100 ভাগে বিভক্ত থাকে।

এই যন্ত্রে মাপের বড় অংশটি পাওয়া যায় প্রধান স্কেলের পাঠ হইতে এবং সূক্ষ্ম ভাগটি জানা যায় বৃত্তীয় স্কেল C হইতে।

স্ক্রু গেজের ক্ষুদ্রতম বা নিম্নতম মাপ (least count).—

এক পাক ঘুরাইলে স্ক্রু যতটা অগ্রসর বা পশ্চাৎবর্তী হয় তাহাকে স্ক্রু-র পিচ্ বলা হয়। স্ক্রুর শির এক পাক ঘুরাইলে A ও B (চিত্র ১৮) সমতল পৃষ্ঠদ্বয়ের দূরত্ব এক পিচের সমান কমিবে (বা বাড়িবে)। বৃত্তস্কেলের এক ঘর ঘুরাইলে স্ক্রু যতটা অগ্রসর বা পশ্চাৎবর্তী হয় তাহাকে স্ক্রুটির নিম্নতম মাপ (least count) বলা হয়। তাহা হইলে, পিচ্ যদি p হয় এবং বৃত্তস্কেলে যদি n ভাগ থাকে, তবে নিম্নতম মাপ হইবে $=\frac{p}{n}$। ইহা অপেক্ষা ক্ষুদ্রতর দৈর্ঘ্য এই যন্ত্রের সাহায্যে মাপ যায় না।

ব্যাক্‌ল্যাশ ভুল (back-lash error).—স্ক্রু ও নাট পদ্ধতিতে যে যন্ত্র কাজ করে এই দোষ তাহাতে অল্প-বেশী প্রায় সর্বদাই দেখা যায়। নতুন অবস্থায় যে যন্ত্রে এই দোষ থাকে না উহাতেও পুরাতন হইলে এই দোষ দেখা দিতে পারে। কারণ, ব্যবহার করিতে করিতে স্ক্রুর প্যাচগুলির ক্ষয় হয়। ফলে, কোন একদিকে ঘুরাইলে স্ক্রু যতটা সামনে যায়, বিপরীত দিকে ঘুরাইলে ঠিক ততটা পিছনে হটে না। সম-সংখ্যক পাক ঘুরাইলে প্রতিবারেই ভুলের পরিমাণ যে এক হইবে তাহারও কোন স্থিরতা নাই। স্ক্রু ও নাট ঘটিত এই অনিশ্চিত ভুলকে ব্যাক্‌ল্যাশ ভুল (back-lash error) বলে। মাপজোক লওয়ার সময়ে স্ক্রু সর্বদা একই দিকে ঘুরাইলে এই ভুল এড়ান যায়।

* আধুনিক স্ক্রু গেজের শিরের উপর আর-একটি বিশেষ ধরণের স্ক্রু লাগান থাকে। ইহার সাহায্যে স্ক্রুটিকে অতি অল্প পরিমাণেও ঘুরান সম্ভব হয় এবং A ও B পরস্পর লাগিয়া যাওয়ামাত্রই ইহা স্বতঃই পিছলাইয়া যাইতে থাকে। তখন ইহা ঘুরাইলে স্ক্রু আর ঘোরে না।

যান্ত্রিক ভুল বা শূন্যের ভুল (instrumental error or zero error).—যন্ত্রটি যদি ঠিক ঠিক প্রস্তুত হয় তবে A ও B পৃষ্ঠ পরস্পরের সংলগ্ন হইলে বৃত্তস্কেলের 0 পিচ্ স্কেলের 0র সহিত অবিকল মিলিয়া যাইবার কথা (চিত্র ১৮)। না মিলিলে শূন্যের ভুল বা যান্ত্রিক ভুল আছে বুঝিতে হইবে। পিচ্ স্কেলের উপর যে ভূমিরেখা আছে, A ও B একত্র হইলে তাহার সহিত বৃত্তস্কেলের কোন্ দাগ মিলিয়া যায় দেখ। এই দাগের সংখ্যাকে নিম্নতম মাপ (least count) দিয়া গুণ করিলে শূন্যের ভুলের পরিমাণ পাওয়া যাইবে। বৃত্তস্কেলের 0, পিচ্ স্কেলের শূন্যের নিকট পৌছাইবার পূর্বেই যদি A ও B লাগিয়া যায়, তাহা হইলে ভুল **ধন** হইবে এবং সংশোধিত দৈর্ঘ্য পাইতে হইলে ইহাকে লব্ধ দৈর্ঘ্য হইতে বিয়োগ করিতে হইবে। আর যদি বৃত্তস্কেলের 0, A ও B পরস্পরের সংলগ্ন হইবার আগেই পিচ্ স্কেলের 0-তে পৌছিয়া যায়, তবে ভুল **ঋণ** হইবে এবং ইহাকে লব্ধ দৈর্ঘ্যের সহিত যোগ করিলে সংশোধিত দৈর্ঘ্য পাওয়া যাইবে।

যদি দেখ শূন্যের ভুল বড় বেশী, এই ধর, উহা পিচ্ স্কেলের এক ঘরের প্রায় অর্ধ-পরিমাণ, তবে যন্ত্রটিকে ব্যবহারের অযোগ্য মনে করা উচিত। উহাকে মেরামত করিতে পাঠান দরকার। A পিন-টি Bর দিকে আগাইয়া আনিয়া ঋণ ভুল দূর করা যায়। আর উহাকে পিছু হটাইয়া লইলে ধন ভুল দূর করা যায়।

৩৯। **স্ক্রু গেজের ব্যবহার-পদ্ধতি**ঃ—কোন তারের ব্যাস, বা পাতের বেধ, মনে কর, নির্ণয় করিতে হইবে। সকল ক্ষেত্রেই, নির্ণেয় দৈর্ঘ্য = পিচ্ স্কেলের পাঠ + (বৃত্তস্কেলের পাঠ × নিম্নতম মাপ) − যান্ত্রিক ভুল। যান্ত্রিক ভুল ধন বা ঋণ হইতে পারে।

সতর্কতাঃ স্ক্রু সর্বদা আস্তে আস্তে একদিকে ঘুরাইবে। মাপ লওয়ার সময় A এবং B-র মধ্যস্থ পৃষ্ঠদ্বয়কে কখনও বেশি চাপ দিবে না।

Examples

1. Find the least count of a micrometer screw gauge from the following data :

Number of divisions on the head scale = 100 ; value of 5 divisions of pitch scale = 5 mm. ; one complete rotation of the head scale moves the screw through 1 div. of the pitch scale.

উত্তরঃ 5 পিচ্ স্কেল ভাগ = 5 মি. মি.। সুতরাং 1 পিচ্ স্কেল ভাগ = 1 মি.মি.। তাহা হইলে 1 পাক ঘুরান হইলে স্ক্রু 1 মি.মি. অগ্রসর হয়। অর্থাৎ স্ক্রুর পিচ্ = 1 মি.মি।

∴ নিম্নতম মাপ = পিচ ÷ বৃত্তস্কেলের মোট ভাগ সংখ্যা = 1 ÷ 100 মি.মি. = 0·01 মি.মি.

2. *Calculate the thickness of a plate from the following data obtained with the help of a micrometer screw :*

Pitch of screw = 1 mm. ; number of divisions on circular scale = 100 ; Initial observations (without the plate) :

pitch scale = 0,
head scale = 3.

Final observations (with the plate between the jaws

pitch scale = 2,
head scale = 45.

উত্তর : নিম্নতম মাপ $= \frac{\text{পিচ্}}{\text{বৃত্তস্কেলের ভাগসংখ্যা}} = \frac{1}{100}$ মি মি. $= 0.01$ মি.মি.

শূন্যের ভুল $= +(3 \times 0.01) = +0.03$ মি.মি ।

লব্ধ বেধ $= 2$ মি.মি. $+ (45 \times 0.01)$ মি.মি. $= 2.45$ মি.মি. ।

প্রকৃত বেধ = লব্ধ বেধ − শূন্যের ভুল $= 2.45 - (+0.03) = 2.42$ মি.মি. ।

3. *Find the diameter and cross-section of a wire from the following data taken by a screw-gauge :*

Screw-pitch = 0.5mm ; 1 pitch scale division = 0.5 mm. : Divisions on circular scale = 50.

Initial readings : pitch scale = −1 mm., circular scale = (50 + 46) divs.

Final readings (with wire between the jaws) :

Pitch scale = 3, circular scale = 27.

উত্তর : নিম্নতম মাপ $= \frac{\text{পিচ্}}{\text{বৃত্তস্কেলের মোট ভাগ}} = \frac{0.5}{50} = 0.01$ মি.মি. ।

শূন্যের ভুল $= -1$ মি.মি. $+ (96 \times 0.01)$ মি.মি. $= -1 + 0.96$ মি.মি $= -0.04$ মি.মি. ।

লব্ধ ব্যাস $= 3$ মি.মি. $+ (27 \times 0.01) = 3.27$ মি.মি. ।

প্রকৃত ব্যাস $= 3.27 - (-0.04) = 3.31$ মি.মি. $= 0.331$ সে.মি. ।

প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল $= \frac{\pi \times (\text{ব্যাস})^2}{4} = \frac{3.14 \times (0.331)^2}{4} = 0.086$ বর্গ সে.মি.

Exercises

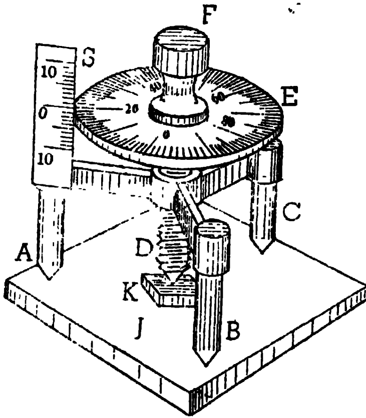
1. You are provided with a screw gauge, a standard wire gauge chart (correlating the diameters of wires with their numbers in S.W.G.) and two samples of copper wires. How will you identify their numbers in S.W G ?

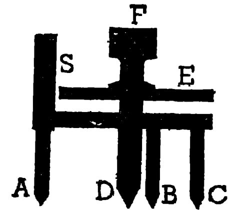
2. What gives the limit of accuracy of measurement by a screw gauge ?

3. What is the zero error of a screw gauge ?

৪০। স্ফেরোমিটার (Spherometer) :—

এই যন্ত্রটির ফ্রেম (চিত্র ১৯) একটি শক্ত ধাতু দ্বারা তৈয়ারী হয়। ফ্রেমটির তিনটি পায়া থাকে। পায়া-তিনটির অগ্রভাগ সূক্ষ্ম। ইহাদের প্রান্তীয় বিন্দুগুলি যোগ করিলে একটি সমবাহু ত্রিভুজ পাওয়া যায়। ছবিতে পায়া তিনটি (*A*, *B* ও *C*) একটি অনুভূমিক কাঁচের উপর বসান আছে। ফ্রেমের কেন্দ্রে একটি নাট (nut) কাটা আছে। স্ক্রু *D* ঘুরান হইলে উহা নাটের মধ্য দিয়া উপরে নীচে উঠা-নামা করিতে পারে। এই স্ক্রুটিরও অগ্রভাগ সূক্ষ্ম এবং ইহার অক্ষ *A*, *B* এবং *C* পায়া তিনটি হইতে সমদূরে অবস্থিত। স্ক্রুটির উপরের প্রান্তে একটি শির (*F*) আছে। শিরের ঠিক নীচে আছে একটি বৃত্তীয় ধাতব পাত। এই ধাতব পাতের ধার ধরিয়া একটি পুরা বৃত্তস্কেল (*E*) অঙ্কিত আছে। *A*-পায়ার উপর একটি সরল স্কেল (*S*) খাড়াভাবে ধৃত আছে। স্ক্রু ঘুরান হইলে বৃত্তস্কেলের ধার ঐ খাড়া স্কেলটির গা ঘেঁষিয়া উপরে ওঠে (বা নীচে নামে)। সরল স্কেলটির 0-দাগ থাকে মাঝামাঝি জায়গায়। ইহা





চিত্র ১৯—স্ফেরোমিটার।

মিলিমিটারে ভাগ করা থাকে। স্ক্রু *D*-র অগ্রবিন্দু যখন *A*, *B* ও *C* পায়ার অগ্রবিন্দুগুলির সহিত একই সমতলে থাকে, তখন বৃত্তস্কেলের পৃষ্ঠ সরল স্কেলের 0-তে থাকিবে এবং বৃত্তস্কেলের দাগ 0 সরল স্কেলের দাগ 0-র সহিত অবিকল মিলিয়া যাইবে। সরল স্কেলের খাড়া ধার ও স্ক্রুর অক্ষ পরস্পরের সমান্তরাল।

কার্যনীতি—যে-কোন স্ক্রুর সাধারণ কার্যনীতিই স্ফেরোমিটারেরও কার্যনীতি। স্ক্রুটিকে নির্দিষ্ট পরিমাণ কোণ ঘুরান হইলে ইহার অগ্রভাগ নির্দিষ্ট পরিমাণ দূরত্ব পর্যন্ত

আগাইবে বা পিছাইবে। এই ঘূর্ণন-কোণ এবং স্ক্রুর অগ্র বা পশ্চাৎ গতির দৈর্ঘ্য পরস্পরের সমানুপাতিক।

স্ক্রু-র পিচ্‌—স্ক্রু-গেজের মত, এখানেও স্ক্রু এক পাক বা 360° ঘোরাইলে ইহার অগ্রভাগ যতটা আগাইবে বা পিছাইবে উহাকে স্ক্রুটির পিচ্‌ বলা হয়।

শূন্যের ভুল বা যান্ত্রিক ভুল—শূন্যের ভুল সম্বন্ধে ইতিপূর্বে (৩৫ অনুচ্ছেদে) আলোচনা করা হইয়াছে। এই যন্ত্রের ক্ষেত্রে স্ক্রুর অগ্রবিন্দু পায়া-তিনটির অগ্রবিন্দুর সহিত একই সমতলে থাকিলে যদি বৃত্তস্কেলের 0 দাগ সরল স্কেলের 0 দাগের সহিত না মিলে তবে শূন্যের ভুল আছে বুঝিতে হইবে। ঐরূপ অবস্থায় বৃত্তস্কেলের পৃষ্ঠ সরল স্কেলের 0-দাগের উপরে থাকিলে শূন্যের ভুল **ধন** হইবে, আর নীচে থাকিলে **ঋণ** হইবে। এই ভুলের পরিমাণ বাহির করিতে হইলে, স্ক্রু-গেজের মত, ইহাতেও দুইটি স্কেলেরই (সরল স্কেল ও বৃত্তস্কেল) পাঠ লইয়া ভুলের মান নির্ণয় করিতে হয়।

ব্যাক্‌ল্যাশ ভুল (back lash error)—এই যন্ত্রেও ব্যাক্‌ল্যাশ ভুলের ঝামেলা আছে। এই ভুলের স্বরূপ কি ও উহা কিভাবে দূর করা যায়, তাহা পূর্বেই (অনুচ্ছেদ ৩৮ (ক)] বিস্তারিত বলা হইয়াছে।

প্রয়োগক্ষেত্র—কোন অবতল বা উত্তল পৃষ্ঠের (concave or convex surface) বক্রতার ব্যাসার্ধ (radius of curvature) বাহির করা, পাতলা পাতের বেধ নির্ণয় করা, উষ্ণতা-বৃদ্ধিজনিত কঠিন পদার্থের যে সামান্য দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি ঘটে তাহা মাপা, ইত্যাদি নানা বিশেষ বিশেষ ছোট ছোট দৈর্ঘ্য মাপার কাজে স্ফেরোমিটার ব্যবহৃত হয়।

৪১। স্ফেরোমিটার ব্যবহারের পদ্ধতিঃ—মনে কর, একটি সমান্তরাল পৃষ্ঠবিশিষ্ট (parallel faced) পাতলা পাতের বেধ মাপিতে হইবে।

(ক) (১) স্ক্রুর পিচ্‌ বাহির কর। ইহা সাধারণতঃ $\frac{1}{2}$ মি.মি. বা 1 মি.মি. হইয়া থাকে। এবার নিম্নতম মাপ বাহির কর (= পিচ্‌ ÷ বৃত্তস্কেলের ভাগসংখ্যা)।

(২) এখন নিম্নলিখিত পরীক্ষার সাহায্যে বেধের মাপ লও।

(খ) পরীক্ষা—পিচ্‌-স্কেল পদ্ধতি (pitch-scale method).—

(১) প্রথমে শূন্যের ভুল বাহির কর। একখানা কাঁচের প্লেট (*J*, চিত্র ১৯) টেবিলের উপর বসাও। ইহার উপরের তল যেন অনুভূমিক থাকে। স্ফেরোমিটারের তিনটি পায়া এই প্লেটের উপর রাখ। স্ক্রুটি (*D*) উপরে উঠানো থাকিবে। পরে ধীরে ধীরে ইহার শির ঘুরাইয়া ইহাকে নীচে নামাইবে। ইহার অগ্রবিন্দু ভূমি প্লেটকে (*J*) ঠিক ঠিক স্পর্শ করিলেই স্ক্রু ঘোরানো বন্ধ করিবে। *D*-র অগ্রবিন্দু বেশী আগাইয়া গিয়া

থাকিলে স্ফেরোমিটারে সামান্য নাড়া লাগিলেই ইহা অগ্রবিন্দুর উপর ভর করিয়া এদিক ওদিক নড়বড় করিবে। আর যদি স্পর্শ না করিয়া থাকে তবে স্ক্রুটির অগ্রবিন্দু এবং ভূমি প্লেটের অভ্যন্তরে উৎপন্ন উহার উল্টানো প্রতিচ্ছায়ার অগ্রবিন্দুর মধ্যে খানিকটা ফাঁক থাকিয়া যাইবে। স্ক্রুর পাদবিন্দু সমতল প্লেট ঠিক ঠিক স্পর্শ করিলে, যেদিক দিয়াই দেখা যাক না কেন, সর্বদাই মনে হইবে যে, D ও উহার উল্টানো প্রতিচ্ছায়ার শীর্ষবিন্দু ঠিক ঠিক পরস্পর মিলিয়াছে। এইরূপ মিল হইলে পরে, বৃত্তস্কেলের পৃষ্ঠ পিচ্ স্কেলের কোন দাগের সহিত মিলিয়াছে বা কোন্ দাগের একটু উপরে উঠিয়া আছে দেখ। তারপর বৃত্তস্কেলের কোন্ দাগটি পিচ্-স্কেলের সহিত মিলিয়াছে তাহা পড়। যন্ত্রটি যদি ভাল হয়, বৃত্তস্কেলের পৃষ্ঠ পিচ্-স্কেলের দাগ 0-র বরাবর থাকিবে ও বৃত্তস্কেলের দাগ 0 পিচ্-স্কেলের দাগ 0-র সহিত মিলিবে। এরূপ না হইলে যান্ত্রিক ভুল আছে বুঝিতে হইবে। যান্ত্রিক ভুল = পিচ্-স্কেলের পাঠ + বৃত্তস্কেলের পাঠ × নিম্নতম মাপ। স্ক্রুর পাদবিন্দু সমতল প্লেট স্পর্শ করিলে যদি পিচ্-স্কেলের স্কেলের পাঠ 0 ও বৃত্তস্কেলের পাঠ, মনে কর, 15 হয় এবং নিম্নতম মাপ 0·01 মি.মি. হয়, (পিচ্ = 1 মি.মি. ও বৃত্তস্কেলের মোট ভাগসংখ্যা = 100), তাহা হইলে যান্ত্রিক ভুল $= 0 + 15 \times 0{\cdot}01 = 0{\cdot}15$ মি.মি. [অবশ্য স্ক্রুটি যদি দক্ষিণমুখী (right-handed) হয়]। এই ভুল ধন হইবে। যদি পিচ্-স্কেলের পাঠ, −1 মি.মি. ও বৃত্তস্কেলের পাঠ 80 হয়, তাহা হইলে যান্ত্রিক ভুল হইবে, $-1 + (80 \times 0{\cdot}01) = -0{\cdot}2$ মি. মি.।

(২) এবার স্ক্রুটিকে কয়েকটি পুরা পাক ঘুরাইয়া উপরে উঠাইয়া লও। স্ক্রুর পাদবিন্দু ও সমতল প্লেটের মধ্যে পরীক্ষণীয় প্লেটটি (K) বসাও। প্লেটটি যেন ছোট হয়। স্ফেরোমিটারের তিনটি পাদবিন্দু উহার চারিদিকে ভূমি প্লেটের উপরে থাকিবে। এবার স্ক্রুটিকে একই দিকে ঘুরাইয়া (ব্যাক্‌ল্যাশ ভুল এড়াইবার জন্য) স্ক্রুর পাদবিন্দু দিয়া K প্লেটটিকে ঠিক ঠিক স্পর্শ করাও। এবার পিচ্‌স্কেল ও বৃত্তস্কেলের পাঠ লও। পরীক্ষণীয় প্লেট K-র বিভিন্ন স্থানে স্ক্রুর পাদবিন্দু স্পর্শ করাইয়া অন্ততঃ ৩ বার পাঠ লইতে হইবে। আবার প্লেটটি উল্টাইয়া রাখিয়া ঐরূপে আরও অন্ততঃ তিনটি পাঠ লও।

(৩) এবার নিম্নোক্ত উপায়ে প্লেটের বেধ বাহির কর—

প্রকৃত বেধ = (পিচ্-স্কেলের পাঠ + বৃত্তস্কেলের পাঠ × নিম্নতম মাপ)—(যান্ত্রিক ভুল)।

(৪) বেধের বিভিন্ন পাঠগুলি হইতে গড় বেধ বাহির কর।

(বিকল্প খ) আবর্তন-পদ্ধতি (Rotation method) :—

এই পদ্ধতি পূর্বের পদ্ধতি অপেক্ষা সহজ। স্ফেরোমিটার বা স্ক্রু-গেজের সাহায্যে

মাপ লইতে গিয়া কলকারখানায় কার্যতঃ এই পদ্ধতিই অবলম্বিত হয়। এই পদ্ধতিতে পিচ্ স্কেলের পাঠ লইতে হয় না, যান্ত্রিক ভুল বা শূন্যের ভুলের প্রশ্নও ওঠে না। স্ক্রুর পাদবিন্দু মাপ লওয়ার সময় কতটা উঠিল বা নামিল তাহা বৃত্তস্কেলের পাঠ হইতে বাহির করিতে হয়।

পরীক্ষণীয় প্লেটটি (K) স্ক্রুর পাদবিন্দু এবং ভূমি প্লেটের মধ্যে বসাও। পূর্বের পদ্ধতির অন্যান্য সাধারণ নিয়ম অবলম্বন করিয়া স্ক্রুটিকে একই দিকে ঘুরাইয়া স্ক্রুর পাদবিন্দু দিয়া পরীক্ষণীয় প্লেটটিকে ঠিক ঠিক স্পর্শ করাও। এখন বৃত্তস্কেলের কোন্ দাগ পিচ্-স্কেলের সহিত মিলিয়াছে তাহা দেখ। মনে কর, এই দাগ x। এখন পরীক্ষণীয় প্লেট সরাইয়া লও। স্ক্রুটি এবার ধীরে ধীরে (ব্যাকল্যাশ ভুল এড়াইবার জন্য) নীচে নামাইয়া একই দিকে ঘুরাইয়া ভূমি প্লেটটি স্ক্রু-র পাদবিন্দু-দ্বারা স্পর্শ করাও। এজন্য বৃত্তস্কেলের কত ঘর ঘুরাইতে হইল তাহা নির্ণয় করিতে হইবে। যদি পুরা এক পাকের বেশী ঘুরাইতে হয় তবে বৃত্তস্কেলের নির্ণেয় ঘরসংখ্যা 100-র বেশী হইবে (বৃত্তস্কেলের মোট ভাগসংখ্যা 100 হইলে)। দুই পাকের বেশী ঘুরাইতে হইলে বৃত্তস্কেলের নির্ণেয় ঘরসংখ্যা 200-র বেশী হইবে। প্রতিবার বৃত্তস্কেলের দাগ নং x, পিচ্-স্কেলে আসিয়া লাগিলে 100 (বৃত্তস্কেলের)-ঘর আবর্তন সম্পূর্ণ হইবে। এইভাবে স্ক্রুর পাদবিন্দু D-কে ভূমি প্লেট স্পর্শ করাইতে স্ক্রুকে যদি বৃত্তস্কেলের n ঘর ঘুরাইতে হয় তবে স্পষ্টতঃই $n \times$ নিম্নতম মাপ = পরীক্ষণীয় প্লেটের বেধ। গড় বেধ বাহির করিবার জন্য প্লেট K-এর বিভিন্ন স্থলে কয়েকবার n-এর পাঠ লইতে হইবে।

উষ্ণতা বাড়িলে একটি রডের দৈর্ঘ্য একটু বাড়ে। এই সামান্য বাড়তিটুকু স্ফেরোমিটার দিয়া সহজেই মাপা যাইতে পারে। এক্ষেত্রে উষ্ণতা বৃদ্ধির পূর্বে রডটি লেবরেটরির স্বাভাবিক উষ্ণতায় থাকার সময়ে স্ফেরোমিটারের তিনটি পাদবিন্দু এক অনুভূমিক তলে (platform) রাখিয়া কেন্দ্রস্থ স্ক্রুর পাদবিন্দু ধীরে ধীরে নামাইয়া রডের শীর্ষে স্পর্শ করাও। এই অবস্থায়, মনে কর, বৃত্তস্কেলের পাঠের দাগ নং হইল x।

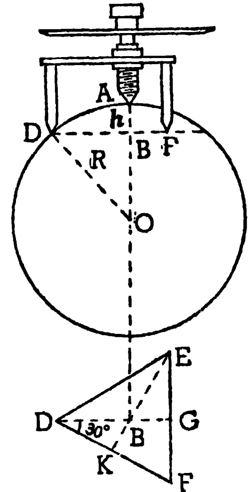
এখন বৃত্তস্কেলটি কয়েকটি পুরা পাক ঘুরাইয়া উপরে উঠাইয়া লও। এইরূপে ঘূর্ণনের পর বৃত্তস্কেলের দাগ নং x পুনরায় পিচ্-স্কেলের খাড়া ধারের সহিত মিলিয়া থাকিবে। মনে কর, N সংখ্যক পুরা পাক ঘোরানো হইল। এখন রডটিকে ক্রমশঃ গরম করিয়া একটি নির্দিষ্ট স্থির উষ্ণতায় আনো। এবার স্ক্রুটিকে পূর্বের বিপরীত মুখে ঘুরাইয়া উহার পাদবিন্দু নীচে নামাও এবং উহাকে রডটির মাথায় লাগাও। মনে কর, এজন্য

বৃত্তস্কেলকে n ঘর ঘুরাইতে হইল (মনে রাখিও যে, পূর্বের মতই n 100-র কম বা বেশী, এমন কি 200, 300 ইত্যাদিরও বেশী হইতে পারে)। তাহা হইলে রডটির উষ্ণতাবৃদ্ধি-জনিত দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি হইল $=[(N\times$ বৃত্তস্কেলের মোট ভাগসংখ্যা $)-n]\times$ স্ফেরোমিটারের নিম্নতম মাপ।

৪। **পরীক্ষা** :—স্ফেরোমিটারের সাহায্যে একটি গোলীয় উত্তল পৃষ্ঠের (convex spherical surface) বক্রতার ব্যাসার্ধ নির্ণয় কর।

(ক) পিচ্-স্কেল পদ্ধতি।—প্রথমতঃ স্ফেরোমিটারের নিম্নতম মাপ ও যান্ত্রিক ভুল বাহির কর। তারপর স্ক্রুটি কয়েক পাক ঘুরাইয়া উহার পাদবিন্দু উপরে উঠাও। এবার যন্ত্রটি উত্তল পৃষ্ঠের উপর বসাও। স্ফেরোমিটারের তিনটি পাদবিন্দু যথা, D, E, F, উত্তল পৃষ্ঠের উপর বসিবে (চিত্র ২০ দেখ)।

এবার স্ক্রু সর্বদা একই দিকে ঘুরাইয়া উহার পাদবিন্দু দ্বারা উত্তল পৃষ্ঠ স্পর্শ করাও। এখন পিচ্-স্কেলের পাঠ এবং বৃত্তস্কেলের পাঠ লও। স্ফেরো-মিটারকে উত্তল পৃষ্ঠের উপর রাখিয়া ও স্ক্রুর পাদবিন্দু দিয়া উত্তল পৃষ্ঠ স্পর্শ করাইয়া কয়েক বার পিচ্-স্কেল এবং বৃত্তস্কেলের পাঠ লও। এইসব পাঠগুলির গড় বাহির কর। এই গড়কে প্রথম পাঠ বলা যাক্।



চিত্র ২০

এবার স্ফেরোমিটারটিকে একটি সমতল কাঁচের প্লেটের উপর বসাইয়া স্ক্রু ধীরে ধীরে ঘুরাইয়া উহার পাদবিন্দু দিয়া প্লেটটি ঠিক ঠিক স্পর্শ করাও। এখন পিচ্-স্কেল ও বৃত্তস্কেলের পাঠ লও। পূর্বের মত এক্ষেত্রেও প্লেটের বিভিন্ন স্থানে যন্ত্রটিকে বসাইয়া প্রতিবার স্ক্রুর পাদবিন্দু দিয়া প্লেটটি ঠিক ঠিক স্পর্শ করাইয়া পিচ্-স্কেল ও বৃত্তস্কেলের পাঠ লও। এই সকল পাঠেরও গড় বাহির কর। এই গড়কে দ্বিতীয় পাঠ বলা যাক্।

প্রথম পাঠ হইতে দ্বিতীয় পাঠ বিয়োগ করিলে যাহা পাওয়া যাইবে উহাই হইবে উচ্চতা h।

[**দ্রষ্টব্য** : পৃষ্ঠটি উত্তল না হইয়া অবতল হইলে প্রথমে সমতল প্লেটের পাঠ লইয়া তারপর অবতল পৃষ্ঠের পাঠ লইতে হইবে। সমতল প্লেটের পাঠ (প্রথম পাঠ)

হইতে অবতল পৃষ্ঠের পাঠ (দ্বিতীয় পাঠ) বিয়োগ করিলে নিম্নতা h পাওয়া যাইবে।]

এখন স্ফেরোমিটারের তিনটি পাদবিন্দুর মধ্যে গড়-দূরত্ব (d) [illegible] করিতে হইবে। স্ফেরোমিটারটিকে একখণ্ড সমতল কাগজের উপর রাখিয়া [illegible] চাপ দিলেই কাগজে তিন পায়ার ডগার ছাপ ফুটিয়া উঠিবে। মনে কর, এই দাগ চিহ্নগুলি হইল D, E, F (চিত্র ২০-এর নীচের অংশ দেখ)। একটি স্কেলের সাহায্যে DE, EF ও FD দৈর্ঘ্য-তিনটি মাপ। এই দৈর্ঘ্য-তিনটির গড় বাহির কর (দৈর্ঘ্য-তিনটি অবশ্য সাধারণতঃ একই হইবে)। ইহাই গড়-দূরত্ব d। $R=\frac{d^2}{6h}+\frac{h}{2}$, এই সমীকরণের সাহায্যে এবার বক্রতার ব্যাসার্ধ R-এর মান বাহির কর।

যে সমীকরণের সাহায্যে R বাহির করা হইল, তাহতে d-র বর্গ লইতে হয় বলিয়া d সঠিকভাবে মাপা দরকার। d বাহির করিতে সামান্য ভুল হইলেও R-এর নির্ণীত মানে অনেক ভুল থাকিয়া যাইবে।

(খ) আবর্তন-পদ্ধতি (Rotation method).—প্রথমে যন্ত্রটির নিম্নতম মাপ বাহির কর। উত্তল পৃষ্ঠের উপর স্ফেরোমিটারের তিনটি পাদবিন্দু রাখিয়া স্ক্রুর পাদবিন্দু দ্বারা পৃষ্ঠটি স্পর্শ করাও। দেখ যে, বৃত্তস্কেলের কোন্ দাগ সরল স্কেলের খাড়া ধারের সহিত মিলিয়াছে। মনে কর, এই দাগ নং x। এখন স্ফেরোমিটারটি তুলিয়া লইয়া একটি সমতল প্লেটের উপর রাখ। স্ক্রুটি সর্বদা একই দিকে ঘুরাইয়া ধীরে ধীরে নীচে নামাও। মনে কর, স্ক্রুর পাদবিন্দু সমতল প্লেট স্পর্শ করা পর্যন্ত বৃত্তস্কেলকে n ঘর ঘুরাইতে হইয়াছে। ধরা যাক্‌, বৃত্তস্কেলে মোট 100 ভাগ আছে। n, 100-র বেশী, 200-র বেশী, ইত্যাদি হইতে পারে, আবার ইহাদের চাইতে কমও হইতে পারে। n কত তাহা সঠিকভাবে বোঝার জন্যই x কত তাহা সর্বদা ঠিক থাকা দরকার। পূর্বের পরীক্ষায় বর্ণিত উচ্চতা h এক্ষেত্রে হইবে $= n \times$ নিম্নতম মাপ। এইভাবে উত্তল পৃষ্ঠের বিভিন্ন স্থান হইতে সমতল পৃষ্ঠে নামিতে কতটা উচ্চতা (h) পর্যন্ত নামিতে হয়, তাহা কয়েকবার মাপিতে হইবে। তারপর ঐ পাঠগুলি হইতে গড় h নির্ণয় কর। d পূর্বের পরীক্ষার পদ্ধতিতেই বাহির করিতে হইবে। d ও h হইতে বক্রতার ব্যাসার্ধ (R) বাহির করিবার পদ্ধতিও পূর্বের মত।

দ্রষ্টব্য ঃ পৃষ্ঠটি উত্তল না হইয়া অবতল হইলে প্রথমে সমতল প্লেটে এবং তারপর অবতল পৃষ্ঠে স্ক্রুর পাদবিন্দু স্পর্শ করাইতে হইবে। অন্য সব দিক দিয়া অবতল পৃষ্ঠের পরিমাপ-পদ্ধতি ও উত্তল পৃষ্ঠের পরিমাপ-পদ্ধতি একই প্রকারের।

৪৩. $R=\frac{d^2}{6h}+\frac{h}{2}$ সমীকরণের প্রমাণ ঃ—

20-এর সাহায্যে উপরোক্ত সমীকরণটি প্রমাণ করা যায়। O হইল একটি উত্তল পৃষ্ঠের কেন্দ্র। A হইল স্ফেরোমিটারের স্ক্রুর পাদবিন্দু। চিত্রে স্ফেরোমিটারের দুইটি পাদবিন্দু (D এবং F) দেখা যাইতেছে। AB=উত্তল পৃষ্ঠের উচ্চতা (h)। Aকে উত্তল পৃষ্ঠ হইতে সমতল পৃষ্ঠে নামাইতে হইলে h উচ্চতা নামিয়া আসিতে হইবে। তিনটি পাদবিন্দু ও স্ক্রুর পাদবিন্দু একই সমতলে থাকিলে যে-কোন পাদবিন্দু হইতে স্ক্রুর পাদবিন্দুর দূরত্ব$=DB$ (বা S) হইবে। স্পষ্টতঃই তাহা হইলে পিথাগোরাসের উপপাদ্য অনুযায়ী,

$$DO^2=DB^2+BO^2=DB^2+(AO-AB)^2\ ;$$

বা, $R^2=S^2+(R-h)^2 \quad \therefore \quad R^2=S^2+R^2-2\ R.h+h^2$।

$$\therefore \quad R=\frac{S^2+h^2}{2h}=\frac{S^2}{2h}+\frac{h}{2} \qquad \cdots \qquad \cdots \qquad (১)$$

এখন চিত্র ২০-এর নীচের অংশ দেখ।

স্ফেরোমিটারের তিনটি পাদবিন্দু (D, E এবং F,) যে সমতলে অবস্থিত স্ক্রুর পাদবিন্দু ঐ সমতলে নামাইলে, মনে কর, উহা B বিন্দুতে ঠেকিবে। DEF একটি সমবাহু ত্রিভুজ। অর্থাৎ, ইহার $DE=EF=FD=d$, ধরা যাক্। D বিন্দুকে একটি সরলরেখার দ্বারা B-র সহিত যোগ করিলে ঐ রেখা EF বাহুর মধ্যবিন্দু (G) দিয়া যাইবে। অনুরূপভাবে, EB রেখা FDবাহুর মধ্যবিন্দু K দিয়া যাইবে। $\angle GDF$ হইবে 30°।

সুতরাং, $DK=DB\ \cos 30^\circ=S\times\frac{\sqrt{3}}{2}$;

$$\text{বা, } \frac{d}{2}=S\times\frac{\sqrt{3}}{2}\ ; \text{ বা, } d^2=3S^2 \qquad \cdots \qquad \cdots \qquad (২)$$

সমীকরণ (১) অনুযায়ী, $R=\frac{S^2}{2h}+\frac{h}{2}$।

$$\text{সুতরাং সমীকরণ (২) হইতে } R=\frac{d^2}{6h}+\frac{h}{2} \qquad \cdots \qquad \cdots \qquad (৩)$$

৪৪। ভরের মাপ :—

প্রাত্যহিক জীবনে সদা সর্বদাই আমাদের বিভিন্ন মানের ভর মাপিতে হয়। লেবরেটরিতেও প্রতিনিয়ত ছোট ছোট ভর মাপার দরকার হয়। সচরাচর ব্যবহার্য যে যন্ত্রটির সাহায্যে ভর মাপা হয়, উহার নাম তুলাযন্ত্র (common balance) বা তুলা। মুদির দোকানে নিশ্চয়ই তোমরা দাঁড়িপাল্লা দেখিয়া থাকিবে। লেবরেটরির সাধারণ তুলা (common balance), পদার্থবিজ্ঞানের তুলা (physical balance), রসায়ন বিজ্ঞানের তুলা (chemical balance), ইত্যাদি নানা তুলাযন্ত্রের নাম তোমরা শুনিয়া থাকিবে। মুদির দাঁড়িপাল্লা এবং এই তুলাগুলির মধ্যে আসল পার্থক্য কেবল এই যে, শেষোক্ত তুলার দ্বারা অল্পমানের ভর অনেক সঠিকভাবে নির্ণয় করা সম্ভব। আমরা বলিয়া থাকি যে, তুলা বা দাঁড়িপাল্লা দিয়া আমরা কোন বস্তু 'ওজন' করি। এরূপ কথা কিন্তু ঠিক নয়। কথাটি সুপ্রচলিত কিন্তু অবৈজ্ঞানিক। কোন বস্তুর ওজন (বা ভার) হইল উহার উপর পৃথিবী দ্বারা প্রযুক্ত উহার কেন্দ্রমুখী এক আকর্ষণ-বল। সাধারণ তুলা দ্বারা এই আকর্ষণ-বল মাপা যায় না। উহা দ্বারা যাহা করা হয় তাহা এই যে, বাম পাল্লায় অজানা ভরটি রাখিয়া ডাইন পাল্লায় কতকগুলি জানা ভর এইরূপ ভাবে যোগ করা হয় যাহাতে দুই পাল্লার ওজন (বা ভার) সমান সমান হয়। তারপর আমরা বলি যে, নির্ণেয় ভর জানা ভরগুলির মোট পরিমাণের সমান হইল।

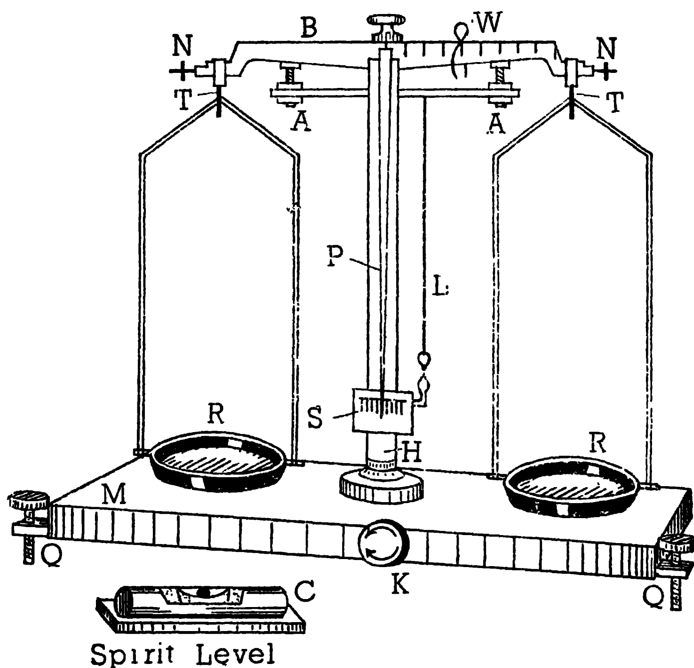
৪৫। সাধারণ তুলা (Ordinary physical balance) ও উহার কার্যনীতির বর্ণনা :—

তুলাদণ্ড (beam) হইল তুলার মূল অংশ। এই দণ্ডটি উহার কেন্দ্রে এমনভাবে ধরা থাকে যে, উহা দুই পার্শ্বে বিনা বাধায় হেলিতে দুলিতে পারে। দণ্ডটির দুই প্রান্তে দুইটি একই রকমের তুলাপাত্র ঝুলান হয়। বাম দিকের পাত্রে নির্ণেয় ভর রাখিতে হয় এবং ডাইন দিকের পাত্রে রাখিতে হয় প্রামাণ্য ভর। নির্ণেয় ভরের ওজন বেশী হইলে তুলাদণ্ডের বাম দিক নীচে হেলে। প্রামাণ্য ভরের ভার বেশী হইলে দণ্ডের ডাইন দিক নীচে হেলে। উভয় দিকের ভার সমান সমান হইলে তুলাদণ্ড অনুভূমিক থাকিবে। ইহাই সংক্ষেপে সাধারণ তুলার কার্যনীতি।

উপরে বর্ণিত কার্যনীতি প্রয়োগ করিবার জন্য নিম্নলিখিত ব্যবস্থাগুলি করা হয় :— তুলাটি একটি পাটাতনের উপর বসান হয়। পাটাতনটি সাধারণতঃ কাঠের থাকে। এই পাটাতন (*M*, চিত্র ২১) তিনটি স্ক্রুর উপর বসান হয়। সামনের দিকে দুই প্রান্তে থাকে দুইটি (*Q*, *Q*) স্ক্রু এবং পিছনের দিকে মধ্যস্থলে থাকে একটি। এই তিনটি

স্ক্রুর সাহায্যে পাটাতন M-কে অনুভূমিক করা যায়। অনুভূমিক হইল কি-না বুঝিবার জন্য M-এর উপর একটি স্পিরিট লেভেল বসাইতে হয়। আলাদা করিয়া ঐরূপ একটি স্পিরিট লেভেল (C) চিত্রে দেখান হইয়াছে। লেভেল করার স্ক্রুগুলি নিয়মানুযায়ী ঘুরাইতে হয়। ইহাতে স্পিরিট লেভেলের অভ্যন্তরস্থ বায়ুবুদ্বুদ উহার মধ্যস্থলে অঙ্কিত দুইটি দাগের মধ্যে পৌছায়। এইরূপ হইলে M অনুভূমিক হইয়াছে বুঝিতে হইবে। এই ওলনদড়ির (পরে বর্ণিত) বিকল্প ব্যবস্থা হিসাবে রাখা হয়।

একটি পোক্ত ফাঁপা থাম (H) পাটাতন M-এর উপর খাড়াভাবে শক্ত করিয়া বসান হয়। এই থামের পাশে উপর হইতে একটি ওলন-দড়ি (plumb line) (L) ঝুলান

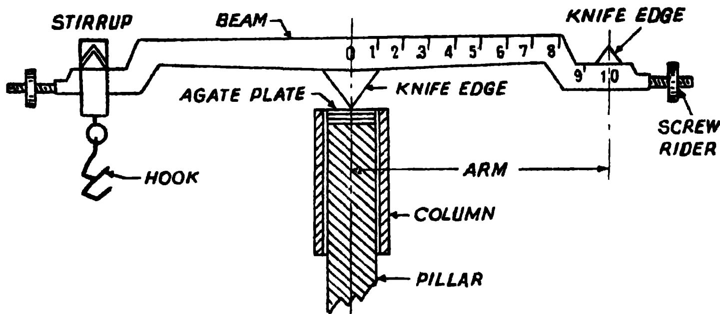


চিত্র ২১—সাধারণ তুলা।

থাকে। ওলনটির গড়ন এমন যে, ইহার নিম্নভাগ ক্রমে সরু হইয়া গিয়াছে, দেখিতে অনেকটা লাট্টুর আকারের। ইহার নীচে খাড়াভাবে একটি ধাতু খণ্ড (উপরের দিকের মুখ চোখা) থাম B-এর সঙ্গে শক্ত করিয়া এমনভাবে ধরা থাকে যে, ওলনটি নিম্নস্থ ধাতুখণ্ডের মুখামুখী হইলে, পাটাতন M অনুভূমিক বা থাম H খাড়া (vertical)

হইয়াছে বুঝিতে হইবে। ফাঁপা থাম H-এর মধ্য দিয়া একটি নিরেট সরল স্তম্ভ উপরে উঠিয়া গিয়াছে (চিত্র ২২ দেখ)। K চাবিটির (চিত্র ২১) সাহায্যে ইহাকে ইচ্ছামত উপরে উঠান বা নীচে নামান চলে। K চাবিটি হইতেছে একটি লিভারের একপ্রান্তে লাগানো একটি হাতল। লিভারের অন্য প্রান্ত লাগানো আছে নিরেট স্তম্ভের সহিত। স্তম্ভের মাথায় একখানি সমতল এ্যাগেটের প্লেট (agate plate) বসান অ

মুদির দাঁড়িপাল্লার তুলাদণ্ডটি সরল, কিন্তু লেবরেটরির তুলার তুলাদণ্ডটি আগাগোড়া সরল এবং সমান পুরু থাকে না। ইহা এক বিশেষ আকারের শক্ত পুরু পাতে নির্মিত হয়। নিকেল-করা ইস্পাতই সাধারণতঃ ইহার জন্য ব্যবহার করা হয়। দণ্ডের দুই অর্ধ অবিকল একরকম করিয়া তৈয়ারী করা হয়। কেন্দ্রে তলার পিঠে দণ্ডের সহিত আড়ভাবে একটি ত্রিকোণ ছুরির ফলা (knife-edge) লাগান হয়। ইহাতে ভর করিয়া দণ্ডটি এ্যাগেট্ প্লেটের উপর বসে। ফলার উপরে ভর দিয়া বসে বলিয়া দণ্ডটি দুই দিকে



চিত্র ২২

বিনা বাধায় দুলিতে পারে। ছুরির ফলাটি এখানে তুলাদণ্ডের আলম্ব (fulcrum)। ইহা এ্যাগেট্ অথবা ইস্পাতের তৈয়ারী। ছুরির ফলা এবং নীচের প্লেট এ্যাগেটের তৈয়ারী বলিয়া তুলাদণ্ডের দুই দিকে বাহু উঠা-নামার কালে উহাদের মধ্যে যে ঘর্ষণ হয় তাহাতে ছুরির ফলার বিশেষ ক্ষয় না।

তুলাদণ্ডের (B) দুই প্রান্তে উর্ধ্বমুখী একই রকমের দুইটি এ্যাগেটের তৈয়ারী ছুরির ফলা দণ্ডের সহিত আড়ভাবে লাগান হয়। ইহাদের ফলা আলম্ব (fulcrum) হইতে দুই দিকে সমান দূরে থাকে। আলম্ব হইতে বাম দিকের ফলা পর্যন্ত অংশকে তুলার বাম বাহু ও ডাইন দিকের ফলা পর্যন্ত অংশকে ডাইন বাহু বলা হয়।

দণ্ড B-র সহিত লম্বভাবে একটি কাঁটা (P) লাগান হয় (চিত্র ২১ দেখ)। ইহার উপরের প্রান্ত দণ্ডের কেন্দ্রে ধরা এবং নীচের প্রান্ত ক্রমশঃ সরু। এই সরু প্রান্ত H থামের নীচের দিকে সংযুক্ত একটি অনুভূমিক স্কেলের (S) উপর দিয়া চলাচল করিতে পারে (চিত্র ২১)। দণ্ড অনুভূমিক হইলে এই কাঁটা একেবারে খাড়া (vertical) ভাবে থাকিবে এবং ইহার নীচের প্রান্ত স্কেলের ঠিক মাঝখানে আসিবে। কখনও কখনও দাগ O স্কেলের মধ্যস্থলে দেওয়া হয় ও উহার দুই দিকে সমান সংখ্যক দাগ থাকে। আবার, কোন কোন তুলার দাগ O থাকে স্কেলের বাম প্রান্তে ও ডাইন দিকে দাগসংখ্যা ক্রমে বাড়ে। তুলাদণ্ডের দুই প্রান্তে প্যাচ কাটা থাকে। প্রত্যেকটিতে একটি নাট (N) লাগান হয়। ইহাদিগকে স্ক্রু সওয়ার (screw rider) বলে।

দণ্ডের আলম্ব হইতে দুই দিকের বাহুর ভার অবিকল সমান করার জন্য কখনও কখনও ইহার একটি বা সময় সময় দুইটি স্ক্রু-ই আলম্বের দিকে বা বিপরীত দিকে সরাইতে হয়।

প্রত্যেক সূক্ষ্ম বা সুবেদী (sensitive) তুলাতেই উহার ডাইন বাহুতে, আলম্ব হইতে প্রান্তীয় ছুরির ফলা পর্যন্ত, দশটি সমান ভাগের দাগচিহ্ন থাকে। আলম্ব বরাবর থাকে দাগ O এবং ডাইন দিকে দাগসংখ্যা এক এক করিয়া ক্রমে বাড়ে। একটি চলন-কাঠির (slide rod) (ইহা চিত্রে দেখান নাই) সাহায্যে তারের তৈয়ারী 10 মিলিগ্রাম ভরের একটি সওয়ার বা রাইডার (rider) ইহার যে-কোন দাগের উপর রাখা যায়। চিত্র ২১-এ ইহাকে W দ্বারা চিহ্নিত করা হইয়াছে। ওজন নেওয়ার সময় ডাইন দিকে সামান্য ভর যোগ করা প্রয়োজন হইলে এই রাইডার ব্যবহার করা হয়। রাইডার যে দাগচিহ্নের উপর রাখা হয় তত সংখ্যক মিলিগ্রাম ডাইন দিকে যোগ করা হইল ধরিতে হয়।

দণ্ডের দুই প্রান্তে খাড়া ফ্রেমযুক্ত দুইটি তুলাপাত্র (R) ঝুলান হয়। ইহাদের আকার, আয়তন ও ভর সম্পূর্ণ একরকম। তুলাদণ্ডের প্রান্তীয় এ্যাগেট্ ফলা হইতে শিকা (stirrup) T দ্বারা এই তুলাপাত্র দুইটি ঝুলান হয়। শিকা-র তলায় আঙটা আছে। ইহা হইতে তুলাপাত্র ঝুলান হয়। শিকা এ্যাগেট দ্বারা তৈয়ারী হয় এবং ইহার গড়ন টোপরের মত; ইহার চালা সমতল বা ত্রিকোণ আকৃতির। এই চালা তুলাদণ্ডের এ্যাগেট্ ফলার উপর বসান হয়।

ওজন নেওয়ার সময় ছাড়া অন্য সব সময় তুলাদণ্ডটিকে স্তম্ভ H-এর সহিত সংযুক্ত দুই পার্শ্বস্থ দুইটি ধারকের (A, A) (arrester) উপর রাখা হয়। এইরূপ করার কারণ আলম্বের ছুরির ফলার ধার যাহাতে নষ্ট না হয় এবং যন্ত্রটির স্পর্শবিচলতা

(sensitivity) কমিয়া না যায়। ওজন নেওয়ার সময় K চাবির সাহায্যে তুলাস্তম্ভটিকে ধীরে উপরে তোলা হইলে স্তম্ভের শির আলম্বের ছুরির ফলা ঠেলিয়া তুলাদণ্ডটিকে উহার ধারক হইতে উপরে তুলিয়া ধরে।

ভাসমান ধূলিকণা এবং বাতাসের ঝাপ্‌টা হইতে তুলাকে রক্ষা করার জন্য একটি কাঠের বা ধাতু নির্মিত আধারের মধ্যে উহাকে রাখা হয়। এই আধারের দেওয়াল থাকে কাঁচের যাহাতে বাহির হইতে যন্ত্রটির সব অংশই দেখা যায়। সম্মুখের দেওয়াল এবং উভয় পার্শ্বের দেওয়াল সহজেই খোলা বা বন্ধ করা যায়। আধারের মধ্যে একটি ছোটপাত্রে জলীয়বাষ্পশোষক কোন রাসায়নিক দ্রব্য রাখিয়া দেওয়া হয়। এই ব্যবস্থা না করিলে জলীয় বাষ্পের ক্রিয়ায় যন্ত্রটির ক্ষতি হইতে পারে।

উত্তম তুলার বৈশিষ্ট্য—একটি উত্তম তুলাকে (ক) সঠিক (true), (খ) সুবেদী বা স্পর্শবিচল (sensitive), (গ) সুপ্রতিষ্ঠ (stable) ও (ঘ) দৃঢ় (rigid) হইতে হইবে।

(ক) **সঠিক**—দুই দিকের পাত্রে সমান ভর থাকিলে বা কোনটিতেই কোন ভর না চাপাইলে যদি তুলার দণ্ড অনুভূমিক থাকে তাহা হইলে তুলাটিকে সঠিক বলা হয়। একটি সঠিক তুলায় একদিকের পাত্র ও উহার সহিত সংশ্লিষ্ট অংশগুলির ভর অন্য দিকের পাত্র ও অংশগুলির ভরের সমান হয়, তুলাদণ্ডের বাহু-দুইটির দৈর্ঘ্য সমান সমান হয়, এবং তুলাদণ্ড অনুভূমিক অবস্থায় দণ্ডের ভারকেন্দ্র উহার আলম্বের নিম্নে থাকে।

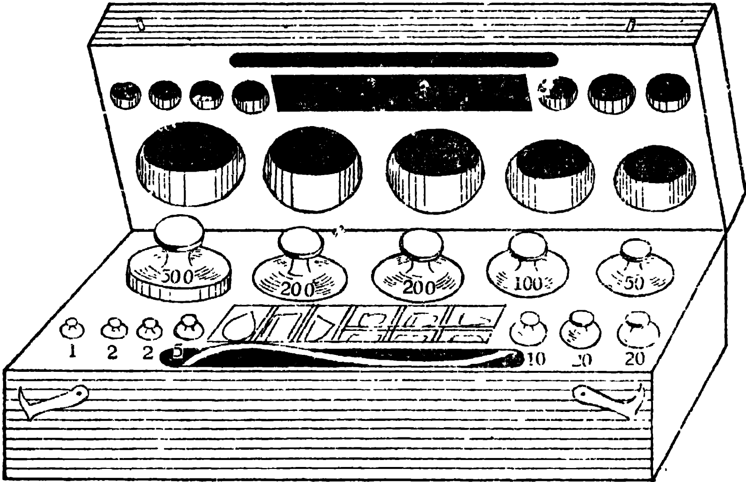
(খ) **স্পর্শবিচল**—দুই দিকের পাল্লায় যে ভর রাখা হয় উহাদের সামান্য পার্থক্যে যদি দণ্ড অধিক ভরের দিকে হেলিয়া যায় তবে তুলাটিকে স্পর্শবিচল বলা যাইবে। ডাইন দিকের পাত্রে 1 মিলিগ্রাম বেশী ভর রাখা হইলে তুলার কাঁটা স্কেলের উপর অন্যদিকে যে কয় ঘর (প্রতি ঘর=১ মিলিমিটার) সরিয়া যায় তাহা দিয়াই সাধারণতঃ যন্ত্রের স্পর্শবিচলতা মাপা হয়।

(গ) **সুপ্রতিষ্ঠ**—কোন কারণে বিচলিত হইবার পরে কাঁটা যদি তাড়াতাড়ি স্বাভাবিক অবস্থায় ফিরিয়া আসে তবে তুলাটিকে সুপ্রতিষ্ঠ বলা হয়।

(ঘ) **দৃঢ়**—দুই দিকের পাত্রে ভর চাপান হইলে তুলাদণ্ড যদি বেঁকিয়া না যায় তবে তুলাকে দৃঢ় বলা হয়। প্রত্যেক তুলাই কোন নির্দিষ্ট ভর পর্যন্ত পরিমাপের জন্য তৈয়ারী করা হয়। এই নির্দিষ্ট ভর পর্যন্ত পরিমাপের কালে তুলাদণ্ড না বেঁকিলেই তুলাটিকে দৃঢ় বলা যাইবে।

ভর (বা পড়িয়ান) বাক্স বা ওয়েট বক্স (weight box)—চিত্র ২৩ এ একটি ডালা খোলা ওয়েট বক্স দেখান হইয়াছে। প্রত্যেক তুলার সহিত এইরূপ একটি বাক্স দেওয়া

হয়। সাধারণতঃ এ বাক্স হয় কাঠের। ইহার মধ্যে প্রমাণ ভর (standard masses) রাখিবার যথাযোগ্য ঘর আছে। ঘরগুলি সাধারণতঃ ভেলভেট্-মোড়া। ভরগুলি হাত দিয়া ধরিতে নাই। একজোড়া ছোট চিম্‌টা বা ফর্‌সেপ্ ওয়েট বক্সের মধ্যে থাকে। ইহার দ্বারাই ভরগুলি ঘর হইতে বাহির করিতে বা ঘরে রাখিতে হয়। অ্যালুমিনিয়ামের তার দিয়া তৈয়ারী 1 বা 10 মিলিগ্রাম ভরের একটি বা ততোধিক রাইডার ওয়েট বক্সের মধ্যে থাকে। প্রত্যেক প্রমাণ ভরের উপর উহার মান খোদাই করা থাকে। ব্যবহারের পর ভরগুলিকে আপন আপন ঘরে রাখিয়া দিতে হয়।



চিত্র ২৩

প্রত্যেক ওয়েট বক্সেই ভরগুলি নিম্নলিখিত ক্রম অনুযায়ী (চিত্র ২৩) পর পর ঘরগুলিতে সাজান থাকে।

ভর (কাঁসা) : 500, 200, 200, 100, 50, 20, 20, 10, 5, 2, 2, 1 (গ্রাম)।

ভর (অ্যালুমিনিয়াম বা নিকেল-করা লোহা) :

500 200, 200, 100, 50, 20, 20, 10, 5 (মিলিগ্রাম)।

এই প্রমাণ ভরগুলি প্রয়োজন অনুযায়ী যোগ করিয়া নানারূপ ভরসমষ্টি পাওয়া যাইতে পারে। স্পষ্টতঃই এই ভরসমষ্টি 5 মিলিগ্রাম পর্যন্ত সঠিক হইবে।

আরও সঠিক ভর পাইতে হইলে 10 বা 1 মিলিগ্রাম ভরের রাইডার ব্যবহার করিতে হয়।

৪৬। তুলার ব্যবহার বিধি ঃ—

কোন তুলা ব্যবহার করিবার পূর্বে ইহাতে সর্বোচ্চ ভর কত মাপা যাইবে সর্বপ্রথম তাহা জানিয়া লইতে হইবে। ইহার অতিরিক্ত ভর চাপান হইলে তুলার ছুরির-ফলাগুলির সূক্ষ্মতা নষ্ট হইবে ও তুলার স্পর্শ-বিচলতা কমিয়া যাইবে।

তারপর লক্ষ্য করিয়া দেখ যে, তুলার বিভিন্ন অংশগুলি, বিশেষ করিয়া [illegible]কাগুলি, উহাদের নির্দিষ্ট স্থানে ঠিক ঠিক ভাবে আছে কি-না। নির্ণেয় ভর জলসিক্ত থাকিলে উহা সরাসরি তুলাপাত্রে বসাইতে নাই। মুছিয়া ইহার গাত্র জলশূন্য করিয়া বসাও বা অন্য শুষ্ক আধারে করিয়া বসাও। ক্ষতিকারক কোন তরল পদার্থের ভর মাপিতে হইলে খুব সাবধানমত একটি পাত্রে বন্ধ করিয়া উহা তুলাপাত্রে দিতে হয়।

বস্তুটি গরম থাকিলে, ঠাণ্ডা করিয়া তবে ওজন করিবে।

পাল্লা-দুইটি খুলিয়া আনিয়া তুলি দিয়া পরিষ্কার করিয়া আবার যথাস্থানে বসাইয়া দাও।

পাটাতনের স্ক্রুগুলি ধীরে ধীরে ঘুরাইয়া যন্ত্রটিকে লেভেল কর। ছোটই হউক আর বড়ই হউক কোন ভর হাত দিয়া তুলিও না। সর্বদা ফরসেপ্ ব্যবহার করিবে।

নির্ণেয় ভর বাম পাত্রে ও প্রমাণ ভরগুলি ডাইন দিকের পাত্রে বসাইবে।

কত ভরে তুলার দণ্ড ভারসাম্যে আসে অর্থাৎ অনুভূমিক হয় তাহা দেখিবার জন্য শুরুতে উচ্চমানের ভর লইয়া কাজ আরম্ভ করিবে। তারপর ধীরে ধীরে ভর কমাইয়া কত ভরে দণ্ড অনুভূমিক হয় দেখিবে।

প্রথমতঃ, মোটামুটিভাবে ভারসাম্য করার চেষ্টা কর। দুই পাত্রের ভরের পার্থক্য অধিক হইলে তুলাদণ্ডকে সামান্য তুলিয়াই উহা বুঝিতে পারা যায়। যখন প্রায় ভারসাম্য হইয়া আসিয়াছে বুঝিবে তখনই কেবল দণ্ডটিকে সম্পূর্ণ তুলিবে। চূড়ান্ত ভারসাম্য দেখার সময় তুলাদণ্ড যেন সম্পূর্ণ মুক্ত (free) অবস্থায় থাকে। এইরূপ পদ্ধতি অবলম্বন করিলে সময় বাঁচান যায় এবং যন্ত্রের ছুরির ফলাগুলিও ক্ষয় হইতে রক্ষা পায়। মোট ভর কত হইল না গুণিয়া পাত্র হইতে ভর সরাইও না। পাত্র ভর সহ বাহিরে আনিতে পার। ভরগুলি সর্বোচ্চ মান হইতে আরম্ভ করিয়া ক্রম অনুযায়ী পর পর লিখিয়া যাও ও যোগ কর। খুশীমত যে-কোন ভর আগে পিছে যোগ করিও না। ঐরূপ করিলে অনেক সময় যোগের গোলমাল হয়। ফলে সন্দেহ দূর করার জন্য ক্ষেত্রবিশেষে আবার ওজন লওয়ার দরকার হয়।

ওজন করিবার সময় তুলাদণ্ডকে হঠাৎ ঝাঁকি দিয়া তুলিবে না বা হঠাৎ আট্‌কাইয়া ধরার চেষ্টা করিও না। তুলার কাঁটার অগ্রভাগ যখন স্কেলের মধ্যদাগের উপর দিয়া যাইবে

ধীরে ধীরে তখন দণ্ডটি নামাইতে হয়। নতুন ভর যোগ করিবার বা কোন ভর সরাইবার পূর্বে দণ্ডটিকে সম্পূর্ণ নামাইয়া ধৃত অবস্থায় রাখিবে। বায়ুপ্রবাহে ভারসাম্য যাহাতে প্রভাবিত না হয় এজন্য অন্ততঃ চূড়ান্ত ওজন নেওয়ার পূর্বে তুলাটির আধারের দরজা বন্ধ করিয়া ও।

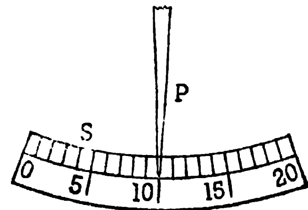
পরীক্ষা শেষ হইয়া গেলে তুলাদণ্ড যেন মুক্ত অবস্থায় না থাকে এবং আধারের দরজা যেন খোলা না থাকে। ভরগুলি ফর্‌সেপ্ দিয়া ধরিয়া নির্দিষ্ট ঘরে ঘরে সাজাইয়া রাখিবে।

বিজ্ঞানের প্রত্যেক ছাত্রকে তুলা ব্যবহারের এই বিধিগুলি বুঝিতে হইবে ও সর্বদা মানিয়া চলিতে হইবে। তাহা না হইলে ওজন করার কাজ কখনই ঠিকভাবে হইবে না। অসতর্ক ছাত্রের হাতে তুলা নিরাপদ নয়।

৪৭। **সাধারণ তুলার সাহায্যে ওজন করার পদ্ধতি ঃ**—বস্তুর ওজন নেওয়ার অনেক পদ্ধতি আছে। নিম্নে দুইটি পদ্ধতি বর্ণনা করা হইল—

(ক) প্রতিকল্পন-পদ্ধতি বা বোর্ডার পদ্ধতি (Method of substitution or Borda's method).—পরীক্ষণীয় বস্তুটি বাম দিকের পাত্রে রাখ। ডাইন দিকের পাত্রে বালি বা অন্য কোন গুঁড়া জিনিষ অল্প অল্প করিয়া দিয়া তুলাদণ্ডের ভারসাম্য কর। তারপর পরীক্ষণীয় বস্তুটি সরাইয়া উহার স্থলে ক্রমে প্রমাণ ভর যোগ করিয়া আবার ভারসাম্য কর। বস্তুটির ভর ও প্রমাণ ভর একই পরিমাণ বালির সহিত ভারসাম্য রক্ষা করে বলিয়া বস্তুটির ভর প্রমাণ ভরের সমান। যে তুলা সঠিক নয় উহার ক্ষেত্রে এই পদ্ধতি অত্যন্ত মূল্যবান।

(খ) সমদোলন-পদ্ধতি (Method of equal oscillation).—মোটামুটি ভাবে ভর নির্ণয় করার জন্য এই পদ্ধতিই সাধারণতঃ ব্যবহৃত হয়। ওজন চাপাইবার পূর্বে লক্ষ্য করিয়া দেখ তুলাটির বিভিন্ন অংশ যথাযথভাবে নির্দিষ্ট স্থানে আছে কি-না। দুই দিকের পাল্লা খালি রাখিয়া তুলাকে এমনভাবে নিয়মিত কর যেন তুলাদণ্ড মুক্ত অবস্থায় রাখা হইলে উহার কাঁটা স্কেলের মধ্য দাগ (চিত্র ২৪-এর দাগ 10) হইতে বামে ও ডাইনে প্রায় সমান সমান ঘর পর্যন্ত দোলে। তারপর



চিত্র ২৪

বাম পাত্রে পরীক্ষণীয় বস্তু রাখিয়া ডাইন পাত্রে উপযুক্ত পরিমাণ প্রমাণ ভর চাপান হইলে কাঁটা মধ্য দাগের দুই দিকে সমসংখ্যক ঘর পর্যন্ত দুলিবে। এই অবস্থায় ডাইন পাত্রের মোট ভরই হইবে বস্তুটির ভর।

৪৮। সমদোলন-পদ্ধতিতে ওজন করিবার প্রাথমিক ব্যবস্থাদিঃ- তুলা ব্যবহার করিতে গেলে উহার কতকগুলি প্রাথমিক বন্দোবস্ত (adjustments) করিতে হয়। কতকগুলি সতর্কতামূলক বিধি (অনুচ্ছেদ ৪৬ দেখ) অনুযায়ী ইহা করিতে হয়। ওজন শুরু করিবার পূর্বে দেখিতে হয় যে, ওলনের সূক্ষ্ম নিম্ন ভাগ উহার নিম্নস্থ ঊর্ধ্বমুখী সূচক-কাঁটার শীর্ষের সহিত এক খাড়া লাইনে আছে কি-না। না থাকিলে বুঝিতে হইবে যে, পাটাতন M অনুভূমিক নাই এবং থাম H খাড়া নাই (চিত্র ২১)। সেক্ষেত্রে যন্ত্রটিকে লেভেল করিতে হইবে। ইহা করিতে স্পিরিট লেভেলটি সামনের দিকের দুই স্ক্রুর সংযোজক লাইনের সহিত সমান্তরালভাবে বসাইবে। এখন সামনের একটি স্ক্রু-ঘুরাইয়া বা দুইটি স্ক্রু পরস্পর বিপরীত দিকে ঘুরাইয়া লেভেলের বায়ু-বুদ্‌বুদকে মধ্যস্থ দুই দাগের মাঝে আনিবে। এরপর স্পিরিট লেভেলকে পূর্বে যেদিকে রাখা হইয়াছিল উহার সহিত আড়ভাবে রাখিবে। এখন কেবলমাত্র পিছনের স্ক্রু ঘুরাইয়া লেভেলের বায়ু-বুদ্‌বুদকে পুনরায় মধ্যস্থলে আনিবে। এখন দেখ যে, ওলনদড়ি নীচের সূচক-কাঁটার বরাবর আছে কি-না। থাকিলে লেভেল সম্বন্ধে নিশ্চিন্ত হইলে। থাম H এখন সঠিক খাড়া হইল ধরা যাইবে। না থাকিলে এক বা একাধিক স্ক্রু সামান্য ঘুরাইতে হইতে পারে।

ধীরে ধীরে চাবি (K) ঘুরাইয়া এবার তুলাদণ্ডকে উপরে তোল। সম্পূর্ণ তোলা হইয়া গেলে কাঁটাটি দুলিবার সময় স্কেলের মধ্যদাগের দুই দিকে কত ঘর করিয়া যায় দেখ। কাঁটাটি উভয় দিকে সমান সংখ্যক ঘর পর্যন্ত না গেলে তুলাদণ্ডের প্রান্তস্থ নাট সরাইয়া সমদোলনের ব্যবস্থা করিতে হইবে। যেদিকের নাট আলম্বের দিকে সরাইয়া আনিবে সেদিকে ভর কমিবে, আবার আলম্ব হইতে দূরে লইয়া গেলে সেদিকের ভর বাড়িবে। মনে রাখিও তুলাদণ্ড মুক্ত অবস্থায় নাট চালনার কাজ করা নিষেধ। তুলাদণ্ড ধৃত অবস্থায় রাখিয়া এই কাজটি করিতে হয়। সমদোলন-ব্যবস্থা ঠিক ঠিক করা হইলে পর ভর মাপার কাজ শুরু করার জন্য তুলাদণ্ডটি প্রস্তুত হইল মনে করিবে।

৪৯। সময়ের পরিমাপঃ—একই সময় অন্তর পুনরাবৃত্তি ঘটে এইরূপ কোন

প্রক্রিয়ার সাহায্য লইয়া সময় মাপিতে হয়। সময়-পরিমাপক যন্ত্রের মধ্যে ক্লক্ (clock) ও ওয়াচ জাতীয় ঘড়ি (watch) অন্য সকল প্রকারের ঘড়ি অপেক্ষা অনেক বেশী উন্নত প্রণালীতে নির্মিত এবং সঠিক, ব্যবহারেও খুব সুবিধাজনক। সময়ের বৈজ্ঞানিক পরিমাপের জন্য তাই এই দুই প্রকারের ঘড়ি ব্যবহৃত হয়।

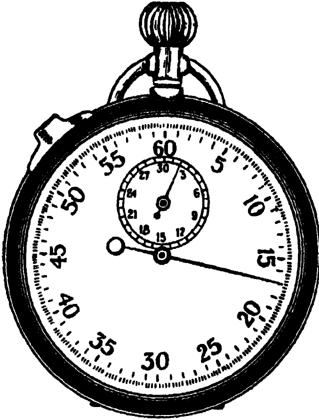
(ক) ক্লক্ ঘড়ি—ক্লক্ ঘড়ি দোলকের (pendulum) সাহায্যে চলে। দোলকের একটি দোলনে নির্দিষ্ট সময় লাগে। যে-কোন নির্দিষ্ট স্থানে স্থির উষ্ণতায় একটি দোলকের দৈর্ঘ্য এমনভাবে নির্দিষ্ট করিয়া দেওয়া যায় যে, এক প্রান্ত হইতে অপর প্রান্তে যাইতে দোলকটির এক সেকেণ্ড সময় লাগে।

প্রতি দোলনের শেষে দোলকটি উপযুক্ত যান্ত্রিক ব্যবস্থার মাধ্যমে উহার গতিশক্তি কয়েকটি সূচক-কাঁটাকে হস্তান্তরিত করে—ফলে উহাদের নির্দিষ্ট পরিমাণ কৌণিক সরণ ঘটে। ঐ কাঁটাগুলিকে ঘড়ির কাঁটা বলে। সাধারণতঃ ঐরূপ তিনটি কাঁটা থাকে—যথা ঘণ্টার কাঁটা, মিনিটের কাঁটা এবং সেকেণ্ডের কাঁটা। প্রাপ্ত ঐ শক্তির বলে ঘণ্টার কাঁটা, মিনিটের কাঁটা এবং সেকেণ্ডের কাঁটা উহাদের জন্য নির্দিষ্ট ডায়েলের উপর ঘোরে। দোলকের শক্তি এক পেঁচানো স্প্রিং হইতে আসে। নিয়মিত সময় পরে পরে স্প্রিংটি পেঁচাইয়া দিতে হয়। ইহাকেই বলে ঘড়িতে দম দেওয়া। লেবরেটরিতে ক্লক্ ঘড়ি সাধারণতঃ ব্যবহার করা হয় না।

(খ) ওয়াচ্ ঘড়ি (পকেট ঘড়ি বা কব্জি ঘড়ি)—এই ঘড়ি লেবরেটরিতে ব্যাপকভাবে ব্যবহৃত হয়। এই ঘড়ির সাধারণ কার্যনীতি ক্লক্ ঘড়ি হইতে অভিন্ন। তবে এক্ষেত্রে দোলকের বদলে আছে একটি ব্যালান্স্ চক্র (balance wheel)। ইহার গতিশক্তি একটি পেঁচানো হেয়ার স্প্রিং (hair spring) হইতে আসে। ঐ চক্রটি চক্রাকার পথে নিয়মিতভাবে ডাইনে-বামে সঞ্চলিত হইতে থাকে। একবার ডাইনে-বামে সঞ্চলনের সময় এক সেকেণ্ড।

ক্রনোমিটার ঘড়ি (chronometer) নামে একরকম ঘড়ি আছে। ইহা বিশেষ যত্নসহকারে নির্মিত এক প্রকারের ওয়াচ্ ঘড়ি। ইহা দ্বারা সময় খুব নিখুঁতভাবে নির্ণয় করা যায়। অন্যান্য ক্লক্ বা ওয়াচ্ ঘড়ি নিয়মিত (regulate) করিবার কাজে ক্রনোমিটার ঘড়ি ব্যবহৃত হয়। নিখুঁত বৈজ্ঞানিক পরিমাপে ইহার প্রয়োজন হয়।

(গ) ষ্টপ্ ওয়াচ্ (stop watch)—ইহাও একটি বিশেষ ধরনের ঘড়ি—দেখিতে যেন ঠিক একটি পকেট ঘড়ি (চিত্র ২৫)। ব্যালান্স চক্র দ্বারা ইহা চালান হয়—ইহার গতিশক্তি আসে একটি পেঁচানো স্প্রিং হইতে। ইহার দ্বারা [illegible]না সময় নিরূপিত হয় না। ইহা কে[illegible] কোন ঘটনা ঘটিতে কতটুকু সময় লাগি[illegible]ছে তাহা সঠিকভাবে নির্ণয়ের জন্য ব্যবহৃত হয়। তোমরা জান, 100 মিটার, 220 গজ, প্রভৃতি দৌড়-প্রতিযোগিতায় কাহার কত সময় লাগিতেছে তাহা এক সেকেণ্ডের এক অতি ক্ষুদ্র ভগ্নাংশ পর্যন্ত নিরূপণ করা দরকার হয়। অনুরূপ কাজে ষ্টপ্ ওয়াচ্ দরকার। বৈজ্ঞানিক পরীক্ষায়ও ষ্টপ ওয়াচ্ ব্যাপকভাবে ব্যবহৃত হয়।



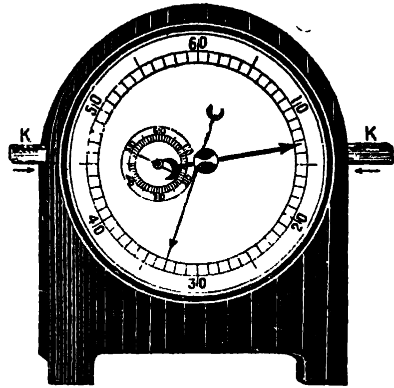
চিত্র ২৫—ষ্টপ্ ওয়াচ্।

ইহার গঠন সাধারণ ওয়াচ্ ঘড়ির মত। তবে, যখন খুশি উপরের নব্‌টি (knob) টিপিয়া এই ঘড়িটি চালান যায় এবং পুনরায় টিপিলে ইহার চলন থামে। এজন্য ঘড়িটির গঠনে কিছু বৈশিষ্ট্য আছে। ইহার ডায়ালের পরিধি 60টি সমান ভাগে ভাগ করিয়া প্রত্যেক ভাগকে এক সেকেণ্ড ধরা হয়। প্রত্যেক সেকেণ্ড আবার 5 বা 10 ভাগে বা অন্য কোন সংখ্যক ভাগে বিভক্ত করা হয়। এই বৃত্তস্কেলের উপর একটি সেকেণ্ডের বড় কাঁটা ঘোরে। কোন ঘটনার শুরুতে তৎক্ষণাৎ নব্‌টি টিপিয়া দিলে সেকেণ্ডের কাঁটাটি দাগ 60 (ইহাই আবার দাগ 0 বটে) হইতে চলিতে শুরু করে। ঘটনাটির শেষে নব্‌টি তৎক্ষণাৎ দ্বিতীয় বার টিপিয়া দিলে কাঁটাটি সঙ্গে সঙ্গে থামিয়া যায়। এইভাবে ঘটনাটি ঘটিতে কত সময় লাগিয়াছে তাহা স্কেলের পাঠ হইতে সঠিক ও নির্দিষ্ট-ভাবে জানা যায়। ঘটনাটি ঘটিতে যদি 60 সেকেণ্ডের বেশি সময় লাগে তাহা হইলে কত মিনিট হইয়াছে তাহা মনে রাখিতে অসুবিধা হইতে পারে বলিয়া একটি স্বতন্ত্র মিনিটের কাঁটা দ্বারা উহা সূচিত হয়। মিনিটের কাঁটাটি একটি স্বতন্ত্র বৃত্তস্কেলের উপর চলে। চিত্রে দেখান হইয়াছে যে, মিনিটের কাঁটার পুরা এক পাক ঘুরিতে 30 মিনিট সময় লাগে। সেকেণ্ডের কাঁটা 60 সেকেণ্ড ঘুরিলে স্পষ্টতই মিনিটের কাঁটা এক ঘর ঘুরিবে। মিনিট ও সেকেণ্ডের কাঁটা দেখিয়া কোন ঘটনা ঘটিতে কত মিনিট

ও কত সেকেণ্ড লাগিয়াছে তাহা জানা যায়। তৃতীয় বার নব্ টিপিলে মিনিটের কাঁটা ও সেকেণ্ডের কাঁটা উভয়েই তৎক্ষণাৎ উহাদের নিজ নিজ 0-দাগে ফিরিয়া আসে। এইভাবে ঘড়িটি পুনঃ ব্যবহারের জন্য প্রস্তুত করিতে হয়।

(ঘ) ষ্টপ্ ক্লক্—ইহা একটি টেবিল ক্লক্ (চিত্র ২৬)। তবে ইহা ষ্টপ্ ওয়াচের নীতিতে চলে। ষ্টপ্ ওয়াচ্ হইতে ষ্টপ্ ক্লক্ অনেক বড়, চালাইবার ও থামাইবার পদ্ধতিও কিঞ্চিৎ স্বতন্ত্র। ঘড়ি বড় হওয়ায় ডায়ালও ইহাতে বড়। ফলে, এক সেকেণ্ডকে অনেক বেশি ভাগে ভাগ করা সহজ হয়।

একটি ঋজু রডের (K) দুই প্রান্ত ঘড়ির দুই পাশে বাড়ান আছে দেখিতেছে। এই রড ঠেলিয়া ঘড়িটি চালান হয় বা বন্ধ করা হয়। ডাইন দিকের প্রান্ত বামে ঠেলিয়া দিলে ঘড়ি চলিতে শুরু করে। আবার বাম দিকের প্রান্ত ডাইনে ঠেলিয়া দিলে ঘড়ি বন্ধ হয়। মিনিট ও সেকেণ্ডের কাঁটা ছাড়াও ইহাতে আরও একটি অতিরিক্ত কাঁটা সাধারণতঃ থাকে। চিত্রে ইহাও দেখান আছে। ঘড়ি চালাইবার আগে এই কাঁটাটিকে উহার চাবি ঘুরাইয়া সেকেণ্ডের কাঁটার সহিত মিলাইয়া রাখা হয়। ইহা ঐখানেই থাকিয়া যায় ও ঘড়ি চলিতে শুরু করার সময় সেকেণ্ডের কাঁটাটি কোথায় ছিল তাহা নির্দেশ করে।



চিত্র ২৬—ষ্টপ্ ক্লক্

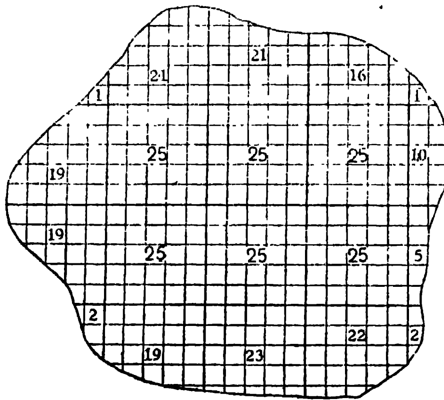
৫০। **সমতলক্ষেত্রের ক্ষেত্রফল-নির্ণয়ঃ—**

নিয়মিত আকারের সমতলক্ষেত্রের ক্ষেত্রফল নির্ণয় করা সম্বন্ধে অনুচ্ছেদ ৩৫-৩৮এ বিস্তারিত আলোচনা করা হইয়াছে। কয়েকটি সরলরেখার মাপ লইয়া এইরূপ ক্ষেত্রে ক্ষেত্রফল নির্ণয় করা চলে। ক্ষেত্রটি ছোট হইলে মাপ লওয়ার জন্য স্লাইড ক্যালিপার বা স্ক্রু-গেজ ব্যবহার করিতে হয়।

ক্ষেত্রটি অনিয়মিত আকারের হইলে উহার ক্ষেত্রফল বাহির করিবার উপায় কি? যদি সম্ভব হয় তবে ঐ অনিয়মিত আকারের ক্ষেত্রটির অনুরূপ একটি চিত্র আঁকিয়া চিত্রটিকে

কয়েকটি নির্দিষ্ট আকারের চিত্রে বিভক্ত করিয়া নেওয়া যাইতে পারে। নির্দিষ্ট আকারের চিত্রগুলির ক্ষেত্রফল বাহির করিয়া যোগ দিলেই অনিয়মিত আকারের চিত্রটির পুরা ক্ষেত্রফল পাওয়া যাইবে। এইরূপ সম্ভব না হইলে বর্গাঙ্কিত কাগজের সাহায্যে বা ওজনের সাহায্যে উহা করা যাইতে পারে। এই পদ্ধতিগুলি অবশ্য নির্দিষ্ট আকারের চিত্রের ক্ষেত্রফল নিরূপণের জন্যও প্রয়োগ করা যাইতে পারে।

(ক) বর্গাঙ্কিত কাগজের (squared paper) সাহায্যে—একটি পেন্সিল দিয়া বর্গাঙ্কিত কাগজের উপর প্রদত্ত চিত্রটির চতুর্দিকের সীমারেখা আঁক (চিত্র ২৭)। ইহাকে কয়েকটি অঞ্চলে ভাগ করিয়া নিলে কাজের সুবিধা হয়। প্রথমতঃ যে-কোন একটি অঞ্চলে কয়টি পুরা বর্গ (square) আছে গুণিয়া লও। তারপর আংশিক বর্গ কয়টি আছে দেখ। অর্ধ-বর্গের অধিক হইলে উহাকে পুরা বর্গ ধরিবে। অর্ধ-বর্গের কম হইলে উহা বাদ দিবে। ঠিক ঠিক অর্ধ-বর্গ থাকিলে এরূপ দুইটি অর্ধ-বর্গ লইয়া একটি পুরা বর্গ ধরিবে। এইরূপে প্রতি অঞ্চলের বর্গসংখ্যা নির্ণয় করিয়া সকল অঞ্চলের মোট বর্গের সংখ্যা বাহির কর। এই মোট সংখ্যাকে একটি বর্গের ক্ষেত্রফল দিয়া গুণ করিলেই নির্ণেয় ক্ষেত্রফল পাওয়া যাইবে।



চিত্র ২৭

ক্ষেত্রফল খুব ছোট হইলে এই পদ্ধতি প্রয়োগ করা উচিত নয়।

(খ) ওজনের সাহায্যে—একখণ্ড কার্ডবোর্ড বা সর্বত্র সমবেধবিশিষ্ট একখানা পাত্‌লা ধাতুর পাত লও। চিত্রটি উহার উপর বসাইয়া চিত্রের সীমারেখা ধরিয়া ভিতরের অংশ কাটিয়া লও ও ইহাকে তুলায় ওজন কর। তারপর একই পাত হইতে একটি নিয়মিত আকারবিশিষ্ট (বর্গ বা ত্রিভুজ আকারের) খণ্ড কাটিয়া লইয়া উহা ওজন কর। পাতের বেধ সর্বত্র এক, তাই

$$\frac{\text{প্রদত্ত চিত্রের ক্ষেত্রফল}}{\text{নিয়মিত আকারের চিত্রের ক্ষেত্রফল}} = \frac{\text{প্রদত্ত চিত্রের আকারের ধাতব পাতের ভর}}{\text{নিয়মিত আকারের ধাতব পাতের ভর}}$$

অনুচ্ছেদ ৩৫-৩৮এ বর্ণিত পদ্ধতিতে নিয়মিত আকারের পাতখণ্ডটির ক্ষেত্রফল বাহির করিয়া লইলে, উপরের সমীকরণ ব্যবহার করিয়া দুইটি পাতের ওজন হইতে প্রদত্ত চিত্রের ক্ষেত্রফল বাহির করা যাইবে। **পাতের বেধ সর্বত্র এক না হইলে** এই পদ্ধতিতে নির্ণীত ক্ষেত্রফলে ভুল থাকিয়া যাইবে।

৫৭। **আয়তনের পরিমাপ** ঃ—বস্তুমাত্রেরই কিছু-না-কিছু আয়তন থাকিবে। আয়তনের পরম একক ঘন সেন্টিমিটার বা ঘনফুট। 1000 ঘন সেন্টিমিটারে 1 লিটার (litre) আয়তন হয়। দশ পাউণ্ড জল 62° *F*. উষ্ণতায় যে আয়তন অধিকার করে উহাকে 1 গ্যালন (gallon) বলে।

আয়তন

(সি. জি. এস্. পদ্ধতি)	(এফ্. পি. এস্. পদ্ধতি)
1000 ঘন মি.মি. = 1 ঘন সে.মি. (ঘ.সে.মি.)	1 ঘনফুট = 1728 ঘনইঞ্চি. (ঘ.ই.)।
1000 ঘন সে.মি. = 1 ঘন ডে.সি.মি. (1 লিটার)	1 ঘনগজ = 27 ঘনফুট (ঘ.ফু.)।
1000 ঘন ডে.সি.মি. = 1 ঘন মিটার।	

পারস্পরিক সম্পর্ক

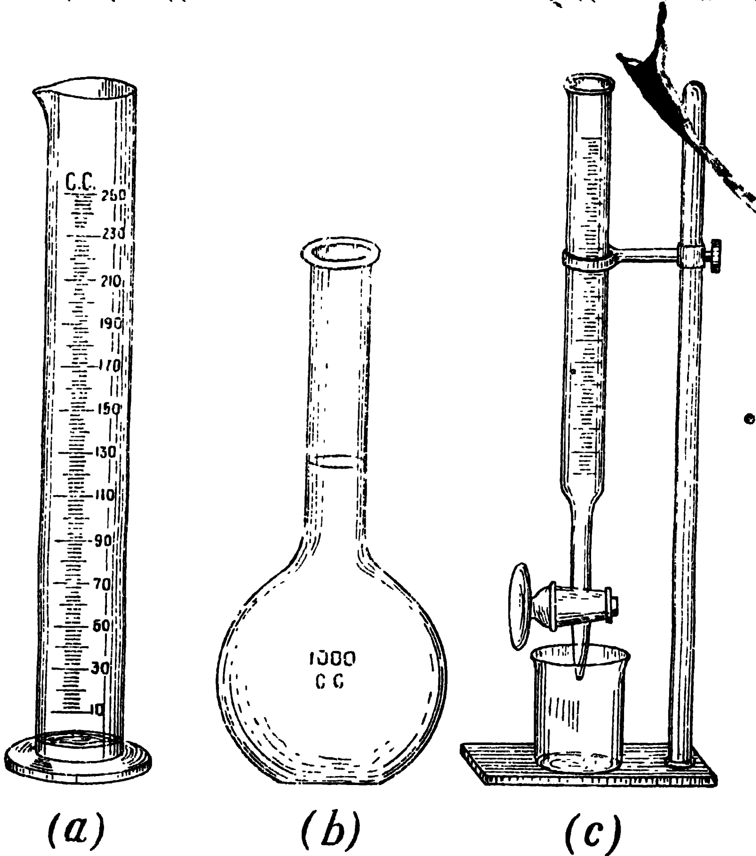
28·31 লিটার = 28310 ঘন সেন্টিমিটার = 1 ঘনফুট।

1 গ্যালন = 4·54 লিটার = 4540 ঘন সেন্টিমিটার।

(ক) তরল পদার্থের আয়তন-নির্ণয়—আয়তনের চিহ্ন অঙ্কিত চোঙ বা ফ্লাস্ক বা বুরেট (চিত্র ২৮) দিয়া তরল পদার্থের আয়তন মাপা হয়।

মাপনী চোঙের আভ্যন্তরিক আয়তনের মান উহার গায়ে (ঘন সেন্টিমিটার ও ঐ ভগ্নাংশে) দাগ দ্বারা চিহ্নিত করা থাকে। তরল পদার্থ চোঙের মধ্যে ঢালিয়া দিলে তরল শীর্ষ চোঙের যে দাগ পর্যন্ত পৌঁছায়, গৃহীত তরল পদার্থের আয়তন তত ঘন সেন্টিমিটার বুঝিতে হইবে। কাঁচের তৈয়ারী নানারকমের আয়তন-মাপনী চোঙ বাজারে পাওয়া যায়। ইহাদের ধারণক্ষমতা বিভিন্ন হইতে পারে। চিত্র ২৮ (*a*)-তে একটি দাগকাটা চোঙ দেখান হইয়াছে। কাঁচের তৈয়ারী আয়তন মাপিবার ফ্লাস্ক চিত্র ২৮ (*b*)-তে দেখান হইয়াছে। ফ্লাস্কের বহিঃপৃষ্ঠে 500 ঘন সে.মি. বা 1000 ঘন সে.মি. এইরূপ কোন আয়তন দাগ কাটিয়া নির্দেশ করা হয়। ঐ দাগ অবধি উঠিলে তরল পদার্থটির আয়তন ঐ মাপের হইবে। এইরূপ নির্দিষ্ট আয়তনের তরল পদার্থের প্রয়োজন হইলে

এই ফ্লাস্ক ব্যবহার করা হয়। চিত্র ২৮ (c)-তে একটি আয়তন মাপিবার বুরেট দেখান হইয়াছে। ইহা একটি কাঁচের নল দ্বারা তৈয়ারী। ইহার নিম্ন প্রান্ত সরু



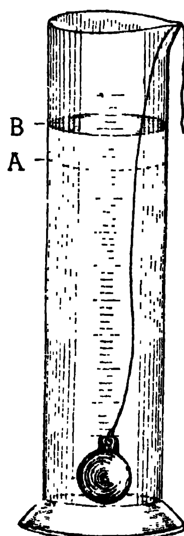
চিত্র ২৮

এবং উহাতে একটি ষ্টপ্ কক্ কল লাগান আছে। ইহার সাহায্যে বুরেটের মধ্যে লওয়া তরল পদার্থকে ফোঁটা ফোঁটা করিয়া ছাড়া যায়। আবার প্রয়োজন হইলে তরল পদার্থের নিষ্ক্রমণ একেবারে বন্ধ করিয়াও দেওয়া যায়। বুরেটের বহির্পৃষ্ঠে ঘন সে.মি. ও ঐ ভগ্নাংশের দাগ কাটা আছে। বুরেটের মধ্যে কিছু তরল পদার্থ থাকিলে উহা কোন্ দাগ পর্যন্ত উঠিয়াছে তাহা দেখিয়া আয়তন কত হইল বলা চলে। কিছুটা তরল পদার্থ উহা হইতে নিম্নস্থ বীকারে ফেলা হইলে পূর্বের ও পরের পাঠের অন্তর হইবে

বীকারে গৃহীত তরল পদার্থটুকুর আয়তন। কোন পরীক্ষাকার্যের জন্য নির্দিষ্ট পরিমাণ তরলের প্রয়োজন হইলে বুরেট ব্যবহার করা হয়।

(খ) কঠিন পদার্থের আয়তন-নির্ণয়—অনুচ্ছেদ ৩৭এ নিয়মিত আকারের একটি কঠিন বস্তুর আয়তন বাহির করিবার পদ্ধতি বিস্তারিতভাবে আলোচনা করা হইয়াছে। স্কেল, স্লাইড ক্যালিপার বা স্ক্রু-গেজ ব্যবহার দ্বারা ঐরূপ বস্তুর বিভিন্ন দিকের দৈর্ঘ্যের মাপ লইতে হয়। বিভিন্ন দিকের মাপ জানা গেলে বস্তুটির আয়তন এই মাপগুলির সাহায্যে হিসাব করিয়া বাহির করা যায়। এবার নিয়মিত বা অনিয়মিত আকারবিশিষ্ট ছোট যে-কোন একখণ্ড কঠিন বস্তুর আয়তন বাহির করিবার কয়েকটি পদ্ধতির কথা বলা হইতেছে।

(১) **তরল পদার্থের স্থানচ্যুতি পদ্ধতি**—(Method of displacement of a liquid)—কোন কঠিন পদার্থ তরল পদার্থে ডুবাইলে উহা আপন আয়তনের তরল পদার্থ স্থানচ্যুত করে। একটি মাপনী চোঙে জল বা অন্য কোন উপযুক্ত তরল পদার্থ লও। মনে কর, এই তরল পদার্থ A বলয় চিহ্ন পর্যন্ত (চিত্র ২৯) উঠিল। এই আয়তন কত হইল লিখিয়া রাখ। এখন কঠিন বস্তুটি সুতায় বাঁধিয়া ধীরে ধীরে ঐ তরল পদার্থে সম্পূর্ণ ডুবাইয়া দাও। ইহার ফলে তরল পদার্থ, মনে কর, B বলয় চিহ্ন পর্যন্ত উঠিল। B পর্যন্ত আয়তন কত হয় দেখ। B-র পাঠ হইতে A-র পাঠ বিয়োগ করিলে AB বেধের তরল পদার্থটুকুর আয়তন পাওয়া যাইবে। এই আয়তন কঠিন বস্তুটির আয়তনের সমান।

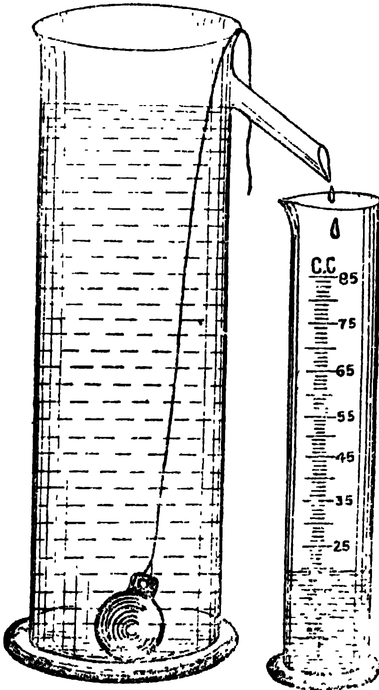


চিত্র ২৯

চোঙের মুখটি বড় না হইলে কঠিন বস্তুটিকে ইহার মধ্যে প্রবেশ করান যাইবে না। নির্বাচিত তরল পদার্থটি এমন হওয়া চাই যে, উহার সহিত মিশ্রিত হইলে কঠিন বস্তুটি গলিবে না বা বস্তুটির কোন রাসায়নিক ক্রিয়া ঘটিবে না। কঠিন বস্তুটি যদি ঐ তরল পদার্থে ভাসে তবে একটি সরু রড দিয়া উহাকে তরল পদার্থের মধ্যে চাপিয়া রাখিতে হইবে।

মনে কর যে, মাপনী চোঙটি ছোট এবং উহার মধ্যে কঠিন বস্তুটিকে ঢোকান যায় না। এই ক্ষেত্রে একটি মোটা মুখওয়ালা কাঁচের সাধারণ চোঙ লইতে হইবে। ইহাতে আয়তনের দাগ থাকার দরকার নাই (চিত্র ৩০)। তবে ইহার উপরি ভাগে একপার্শ্বে একটি নির্গম নল-থাকা দরকার।

প্রথমতঃ, চোঙটিকে নির্গম-মুখ পর্যন্ত তরল পদার্থ দ্বারা ভর্তি কর। আর একটু তরল পদার্থ দিলেই যেন তাহা ঐ মুখ দিয়া গড়াইয়া পড়ে। এখন নির্গম-মুখের নীচে মাপনী চোঙটি খালি অবস্থায় রাখ। এবার বস্তুটি সুতায় বাঁধিয়া সুতার অপর প্রান্ত হাতে ধরিয়া রাখিয়া তরল পদার্থের মধ্যে উহাকে ধীরে ধীরে ক্রমে সম্পূর্ণ ডুবাইয়া দাও। ইহাতে কিছুটা তরল পদার্থ নির্গম-মুখ দিয়া মাপনী চোঙে গিয়া পড়িবে। মাপনী চোঙের আয়তনের দাগ হইতে এই তরল পদার্থের আয়তন জানা যাইবে। ইহা কঠিন বস্তুটির আয়তনের সমান।



চিত্র ৩০

পার্শ্বে মুখওয়ালা উপরে বর্ণিত মোটা চোঙ না পাওয়া গেলে এবং মাপনী চোঙের মুখ দিয়াও বস্তুটি ভিতরে না ঢুকিলে, বস্তুটির আয়তন মাপার জন্য অন্য পদ্ধতি অবলম্বন করিতে হইবে। একটি বেশ বড় পাত্র খুঁজিয়া লও। উহার মুখ যেন বস্তুটি ভিতরে দেওয়ার পক্ষে যথেষ্ট হয়। ইহার দেওয়ালে একফালি কাগজ খাড়াভাবে গঁদ দিয়া আঁটিয়া দাও। পাত্রটিতে কিছু তরল পদার্থ ঢাল। তরল পদার্থ কাগজটির যতদূর পর্যন্ত উঠিয়াছে সেখানে পেন্সিল দিয়া একটি অনুভূমিক দাগ দাও। মনে কর, দাগটির নাম দেওয়া হইল A। এবার কঠিন বস্তুটি তরল পদার্থের মধ্যে পুরাপুরি ডুবাইয়া ধর। ফলে, তরল পদার্থ পূর্বের দাগ ছাড়াইয়া উপরে উঠিবে। এখন একটি পিপেট দিয়া অল্প অল্প করিয়া তরল পদার্থ লইয়া তাহা মাপনী চোঙে রাখ। এইরূপে

তরল পদার্থের শীর্ষ পেন্সিলের প্রারম্ভিক দাগ B পর্যন্ত নামাইয়া আন। কত আয়তনের তরল পদার্থ মোট সরাইতে হইল তাহা সর্বশেষে মাপনী চোঙের দাগ দেখিয়া ঠিক কর। পরীক্ষণীয় বস্তুর আয়তন এই আয়তনের সমান।

(২) ওজন-পদ্ধতি—

এমন কোন তরল পদার্থ নির্বাচন কর যাহাতে কঠিন পদার্থটি গুলিয়া না যায়, বা যাহার সহিত কঠিন পদার্থটির রাসায়নিক কোন ক্রিয়া না ঘটে। এইরূপ কাজে জল, কেরোসিন, কোহল, এইরূপ কোন একটি উপযোগী তরল পদার্থ সাধারণতঃ বাছিয়া লইতে হয়। এখন, পার্শ্বে নির্গম-মুখযুক্ত একটি বড় চোঙ লও এবং উহাকে নির্গম-মুখের ঠিক তলা পর্যন্ত তরল পদার্থে ভর্তি কর। তারপর বস্তুটি ইহার মধ্যে ডুবাও। ডুবানর ফলে যতটা তরল পদার্থ মুখ দিয়া গড়াইয়া পড়িবে তাহা একটি বীকারে ধর। মনে কর, বীকারটি পূর্বেই ওজন করা হইয়াছে ও উহার ভর m_1 গ্রাম। স্থানচ্যুত তরল পদার্থসহ বীকারটিকে পুনঃ ওজন করিয়া, মনে কর, ভর পাওয়া গেল m_2 গ্রাম। তাহা হইলে স্থানচ্যুত তরল পদার্থর ভর $=(m_2 - m_1)$ গ্রাম। যদি ধরা যায় যে, পরীক্ষাগারের উষ্ণতায় ঐ তরল পদার্থের ঘনত্ব (ভর $\div$ আয়তন) হইল ρ গ্রাম, প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে, তাহা হইলে স্থানচ্যুত তরল পদার্থের (অর্থাৎ কঠিন বস্তুটিরও) আয়তন $=(m_2 - m_1)\rho$ ঘন সেন্টিমিটার। এই পরীক্ষায় তরল পদার্থ হিসাবে জল ব্যবহৃত হইলে, সাধারণ উষ্ণতায় উহার ঘনত্ব $=1$ গ্রাম, প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে, ধরিতে পার। তাহা হইলে নির্ণেয় আয়তন হইবে $(m_2 - m_1)$ ঘন সেন্টিমিটার।

দ্রষ্টব্য ঃ আর্কিমিডিস সূত্র প্রয়োগ করিয়াও কঠিন বস্তুর আয়তন সহজে বাহির করা যায়। এ বিষয়ে পরে বিস্তারিত আলোচনা করা হইবে।

৫২। ঘনত্ব (Density) ঃ—

বস্তুর প্রতি একক আয়তনের ভরকে উহার ঘনত্ব বলে। m কোন বস্তুর ভর ও v উহার আয়তন হইলে, ঘনত্ব $\rho = \frac{m}{v}$। সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে ভরের একক গ্রাম এবং আয়তনের একক ঘন সে.মি.। সুতরাং ঘনত্বের একক হইবে গ্রাম, প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে। এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে ভরের একক পাউণ্ড এবং আয়তনের একক ঘন ফুট। তাই ঘনত্বের একক হইবে পাউণ্ড, প্রতি ঘনফুটে। অতএব কোন বস্তুর ঘনত্ব জানিতে হইলে উহার সবটার বা কিছুটার ভর ও ঐ ভরের আয়তন, দুই-ই জানা দরকার।

গ্যাসের ঘনত্ব :—ঘনত্ব $= \frac{\text{গ্যাসের ভর}}{\text{গ্যাসের আয়তন}}$ । কিন্তু গ্যাসীয় পদার্থের নির্দিষ্ট কোন আয়তন নাই, চাপ দিয়া গ্যাসকে সঙ্কুচিত করা যায় আবার চাপ কমাইয়া উহার আয়তন বাড়ান যায়। এই কারণেই গ্যাসীয় পদার্থের নির্দিষ্ট ঘনত্ব নাই। তাপমাত্রার কোন পরিবর্তন না ঘটিলে নির্দিষ্ট ভরের গ্যাস নির্দিষ্ট চাপে এক নির্দিষ্ট আয়তন অধিকার করিয়া থাকে। তাই বলা চলে যে, তাপমাত্রা ও চাপ নির্দিষ্ট থাকিলে গ্যাসীয় পদার্থের ঘনত্ব নির্দিষ্ট থাকে।

কঠিন ও তরল পদার্থের তুলনায় যে-কোন গ্যাসেরই ঘনত্ব খুব কম। গ্যাসীয় পদার্থের মধ্যে হাইড্রোজেন গ্যাসের ঘনত্ব সর্বাপেক্ষা কম। স্বাভাবিক চাপ ও তাপমাত্রায় এই গ্যাসের ঘনত্ব $= 0{\cdot}000089$ গ্রাম।

গ্যাসীয় পদার্থের ঘনত্ব সাধারণতঃ হাইড্রোজেন গ্যাসের সহিত তুলনা করিয়া প্রকাশ করা হয়। অর্থাৎ,

$$\text{গ্যাসের আপেক্ষিক ঘনত্ব} = \frac{\text{নির্দিষ্ট চাপ ও উষ্ণতায় গ্যাসের ঘনত্ব}}{\text{ঐ একই চাপে হাইড্রোজেন গ্যাসের ঘনত্ব}}$$ ।

৫৩। কঠিন বস্তুর ঘনত্ব নির্ণয় প্রণালী :—

(ক) নিয়মিত আকারের বস্তু—এক্ষেত্রে স্লাইড ক্যালিপার বা স্ক্রু-গেজের সাহায্য লইয়া বস্তুটির আয়তন (v ঘন সে.মি.) বাহির করা হয় (অনুচ্ছেদ ৩৭ দেখ)। এর পর একটি সাধারণ তুলার সাহায্যে উহার ভর (m গ্রাম) নির্ণয় করা হয় [অনুচ্ছেদ ৪৭ (খ)]। তাহা হইলে, কঠিন বস্তুটির ঘনত্ব $= \frac{m}{v}$ (গ্রাম, প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে) হইবে।

(খ) নিয়মিত বা অনিয়মিত আকারবিশিষ্ট বস্তু—সাধারণ তুলায় ওজন করিয়া পুরা বস্তুটির অথবা উহার এক টুকরার ভর (m গ্রাম) বাহির কর। এখন তরল পদার্থের স্থানচ্যুতি-পদ্ধতি বা ওজন-পদ্ধতির সাহায্যে ঐ বস্তুটির বা টুকরাটির আয়তন (v ঘন সে.মি.) বাহির কর, [অনুচ্ছেদ ৫১ (খ) দেখ]। তাহা হইলে, বস্তুটির ঘনত্ব, $\rho = \frac{m}{v}$ (গ্রাম, প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে) হইবে।

Examples

1. The mass of an alloy is 320 gms. Its volume is 30 c.c. What is its density ?

উত্তর : ঘনত্ব $= \frac{\text{ভর}}{\text{আয়তন}} = \frac{320}{30} = 10{\cdot}67$ গ্রাম, প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে।

2. *A cylinder is 2 ft. high. The area of its base is 3 sq. ft. The density of the material of the cylinder is 46·875 lbs./cu. ft. What is the mass of the cylinder ?*

উত্তর ঃ চোঙটির আয়তন = ভূমির ক্ষেত্রফল × উচ্চতা $= 3 \times 2 = 6$ ঘনফুট।

ঘনত্ব = [illegible] ন। ভর = আয়তন × ঘনত্ব $= 6 \times 46{\cdot}875 = 281{\cdot}25$ পাউণ্ড।

3. *[illegible] mass of a marble is 50 gms. Its density is 2·5 gms./c.c. What is its volume ?*

উত্তর ঃ ভর = 50 গ্রাম। ঘনত্ব = 2·5 গ্রাম, প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে।

$\text{ঘনত্ব} = \dfrac{\text{ভর}}{\text{আয়তন}}$। সুতরাং $\text{আয়তন} = \dfrac{\text{ভর}}{\text{ঘনত্ব}} = \dfrac{50}{2{\cdot}5} = 20$ ঘন সে মি.।

Exercises

1. Draw the diagram of a common balance and indicate the following parts in it—fulcrum, end knife-edge, screw-rider, stirrup, plumb line, pointer, scale, scale pan.

2. What is a weight box ? State the order in which the weights are put in the box. Why is a forcep kept in the box ? Do you find a wire-rider in it ?

3. You are supplied with a piece of stone, a weight box and a common balance. Describe how you will proceed to weigh the stone. Draw the table in which the results will be presented.

4. State the precautions to be observed in using a common balance.

5. What do you understand by a good balance ? Describe and explain its qualities.

6. What do you do with a stop-watch ? In which way is a stop-clock different from a stop-watch ? Draw on a white paper the scales you find in a stop-watch. Write down the value of one small division in each scale.

7. You are provided with a graduated cylinder, an irregular piece of stone, and a piece of thin thread. Explain how you will determine the volume of the stone.

8. A tumbler with a side spout, a finely divided narrow measuring cylinder, sufficient water and a piece of stone which does not go inside the cylinder are given. How will you measure the volume of the stone ?

9. A wooden cube, a slide callipers, and a balance are supplied. Explain how you will determine the density of the solid.

10. What apparatuses will you require to determine the density of a lump of wax ? Explain why ?

11. A pot containing some liquid, an empty beaker, a graduated cylinder, a balance and a weight box are given. Explain how you will proceed to determine the density of the liquid.

12. A measuring flask, a rough balance, and standard weights are available. How will you determine the density of water with them ? Make any remarks about your result if you think necessary.

পঞ্চম পরিচ্ছেদ

বল এবং বস্তুর স্থিতি ও গতি

৫৪। **সূচনা**ঃ—বস্তুর স্থিতি ও গতির অবস্থা ও কার্যকারণ যে শাস্ত্রে আলোচিত হয়, উহার সাধারণ নাম **বলবিদ্যা**। বলবিদ্যাবিষয়ক অল্প কয়েকটি প্রয়োজনীয় বিষয় মাত্র এই পরিচ্ছেদে আলোচিত হইবে।

বস্তু (body) ও কণার (particle) পার্থক্য—নির্দিষ্ট পরিমাণ কোন পদার্থকে আমরা একটি বস্তু বলি। বস্তু মাত্রেরই নিজস্ব আয়তন থাকে। অংশগুলির পারস্পরিক অবস্থান স্থির থাকিলে বস্তুটিকে অনমনীয় বা দৃঢ় বা সুসংবদ্ধ (rigid) বলা হয়। বাহির হইতে বল প্রযুক্ত হইলে সব বস্তুই কম-বেশী উহার দৃঢ়তা হারায়। এই গ্রন্থে, অন্যরূপ উল্লেখ না থাকিলে, বস্তু বলিতে দৃঢ় বস্তুকেই ধরা হইবে। দৃঢ় বস্তুর নিজস্ব আয়তন ও আকার থাকে।

কণা বলিতে বস্তুর এমন এক ক্ষুদ্র অংশকে আমরা বুঝি যাহার অবস্থিতিকে জ্যামিতিক একটি বিন্দু দিয়া বুঝান যাইতে পারে। ইহার বিভিন্ন অংশের মধ্যে কোন দূরত্ব নাই ধরিতে হয়, অর্থাৎ কণা হইল এমন এক ভরবিন্দু যাহার অবস্থিতি আছে কিন্তু কোন আয়তন নাই।

কণা বিন্দুবৎ বলিয়া উহার আবর্তন বা পাক খাওয়া বলিয়া কোন বিষয় নাই। ইহার গতি বলিতে এক স্থান হইতে অন্য স্থানে যাওয়ার চলনগতি মাত্র বোঝায়।

বলবিদ্যার প্রধান শাখা দুইটি—**স্থিতিবিদ্যা** ও **গতিবিদ্যা**। স্থিতিবিদ্যায় কোন কণা বা বস্তুর উপর ক্রিয়াশীল বলগুলির সমতান্বিত বা সাম্য অবস্থা আলোচনা করা হয় [এই পুস্তকের দ্বিতীয় খণ্ডে বিষয়টি আলোচনা করা হইয়াছে]। স্থিত তরল পদার্থের (liquid in equilibrium) উপর ক্রিয়াশীল বলগুলির আলোচনা হয় উদ্‌স্থিতিবিজ্ঞানে (hydrostatics)। সাম্যাবস্থাধীন গ্যাসীয় পদার্থের (gas in equilibrium) উপর ক্রিয়াশীল বল সম্বন্ধে গ্যাসশাস্ত্রে (pneumatics) আলোচনা করা হয়। গতিবিদ্যায় গতিশীল বস্তু লইয়া আলোচনা চলে। গতিশীল তরল ও গ্যাসীয় পদার্থ সম্বন্ধে যে বিজ্ঞানে আলোচনা হয় উহার নাম উদ্‌চলবিদ্যা (hydrodynamics)।

৫৫। স্থিতি ও গতিঃ—

সময়ের সঙ্গে যে বস্তুর অবস্থিতি বদলায় না ঐ বস্তুকে একটি স্থির বস্তু বলা হয়। আর সময়ের সঙ্গে যে বস্তুর অবস্থিতি বদলায় উহার নাম গতিশীল বস্তু।

পরম স্থিরতা অসম্ভব—বস্তু মাত্রেরই স্থিরতা আপেক্ষিক মাত্র। কোন বস্তু গতিশীল কি-না বোঝার জন্য সময় নিরপেক্ষ পরম স্থিতিশীল কোন বস্তুর সঙ্গে ইহার অবস্থান বিভিন্ন সময়ে তুলনা করা দরকার। এরূপ কোন পরম স্থিতিশীল বস্তুর অস্তিত্ব মহাবিশ্বে নাই। যখন বলি যে, একটি বল মাটির উপর স্থির হইয়া আছে তখন আমরা বুঝি যে, মাটির তুলনায় ইহার কোন আপেক্ষিক গতি নাই। কিন্তু বলটি পরম স্থিতির অবস্থায় নাই। ইহা যে ভূমির উপর অবস্থিত তাহা পৃথিবীর পৃষ্ঠ। পৃথিবী অবিরাম ঘুরিতেছে। এইরূপ পরিস্থিতিতে বলটি নিশ্চল আছে বলা উচিত কি? তবু বলটি নিশ্চল আছে বলা হয় এই অর্থে যে, অবস্থানস্থল হইতে ইহার বিচ্যুতি ঘটিতেছে না। বলটি ও পৃথিবীপৃষ্ঠ পরস্পর স্থির বা আপেক্ষিক ভাবে স্থির।

বস্তুর পরম নিশ্চলতা বলিয়া কিছু নাই। আমাদের লক্ষিত সকল রকমের নিশ্চলতাই আপেক্ষিক। কোন বস্তু স্থির আছে বলিলে আমরা বুঝি যে অন্য একটি বস্তুর তুলনায় ইহার অবস্থান সময়ের সহিত বদলাইতেছে না। একই ট্রেনের যে-কোন যাত্রী অন্য যাত্রীদের তুলনায় স্থির। কিন্তু রাস্তার পাশের বৃক্ষের তুলনায় সে স্থির আছে কি? এক ঝাঁক পাখী সারিবদ্ধভাবে যখন আকাশে উড়িয়া চলে তখন পাখীগুলি একে অন্যের তুলনায় (সকলে সারিবদ্ধভাবে চলিতেছে বলিয়া) স্থির, কিন্তু নিম্নস্থ মাটির তুলনায় গতিযুক্ত। পরম নিশ্চলতার কোন দৃষ্টান্ত আমাদের জানা নাই। তাই মনে রাখিবে, যাহা আমরা নিশ্চল বলিয়া সাধারণতঃ বুঝি তাহা আপাত নিশ্চল মাত্র।

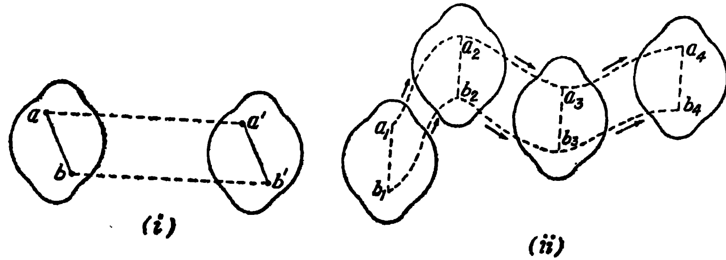
৫৬। সকল রকমের গতিই আপেক্ষিক মাত্রঃ—কোন বস্তুর পরম গতি (absolute motion) জানিতে হইলে তুলনার জন্য অপর এমন একটি বস্তু আবশ্যক যাহা সদা নিশ্চল। কিন্তু মহাবিশ্বে এরূপ সদা-নিশ্চল বস্তুর কোন সন্ধান পাওয়া যায় না, ইহা পূর্বেই বলা হইয়াছে। যে সমুদয় গতির সহিত আমরা পরিচিত সেগুলি বস্তুতঃ তাহা হইলে আপেক্ষিক গতিমাত্র। কোন বস্তুর গতির কথা বলিতে হইলে আমরা অন্য কোন বস্তুকে স্থির বলিয়া ধরিয়া লই এবং এই আপাত স্থির বস্তুর তুলনায় আলোচ্য বস্তুর গতিকেই উহার গতি বলিয়া বর্ণনা করি, যদিও তাহা বস্তুটির আপেক্ষিক গতি (আপাতস্থির বস্তুর তুলনায়) মাত্র।

সাধারণতঃ, পৃথিবীপৃষ্ঠে কোন বস্তুর গতির কথা বলিবার সময়ে ধরিয়া লওয়া হয় যে পৃথিবী স্থির আছে। কিন্তু ইহাকে আপেক্ষিক গতি না বলিয়া আমরা শুধু গতি বলি।

৫৭। বিভিন্ন রকমের গতি :—

গতি বিভিন্ন প্রকারের হইতে পারে, যথা—চলনগতি, ঘূর্ণনগতি, বা এই দুই প্রকার গতির দ্বারা উৎপন্ন মিশ্র গতি।

(ক) চলনগতি—মনে কর, একটি বস্তুর দুইটি বিভিন্ন বিন্দু যোগ করিয়া একটি সরলরেখা টানা গেল। বস্তুটির গতি যদি চলনগতি হয় তবে বস্তুটির প্রত্যেক অবস্থানেই ঐ টানা রেখা সমান্তরাল থাকিবে। চলনগতি আবার সরল বা বক্র এই দুই রকমের হইতে পারে। সরলগতিতে বস্তুর প্রত্যেকটি কণাই সরলরেখায় পথ চলিবে। চিত্র ৩১ (*i*)-তে সরলগতি ব্যাখ্যা করা হইয়াছে। a এবং b একটি বস্তুর দুইটি বিভিন্ন বিন্দু। ab সরলরেখা দ্বারা উহাদের যোগ করা হইয়াছে। বস্তুটি পরবর্তী সময়ে



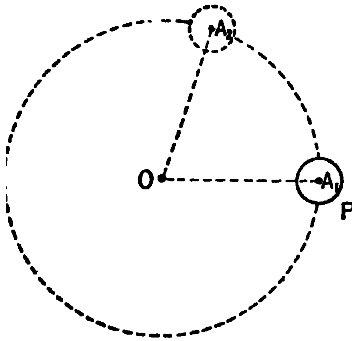
চিত্র ৩১

ভিন্ন অবস্থানে সরিয়া গেলে a, a' এবং b, b' দ্বারা বিন্দুদুইটির পরিক্রমণ-পথ নির্দেশ করা হইয়াছে। গতি চলনগতি বলিয়া $a\,b$ এবং $a'\,b$ পরস্পরের সমান্তরাল হইবে। এবং গতি সরল বলিয়া aa' ও bb' রেখাদ্বয় হইবে সমান্তরাল সরলরেখা।

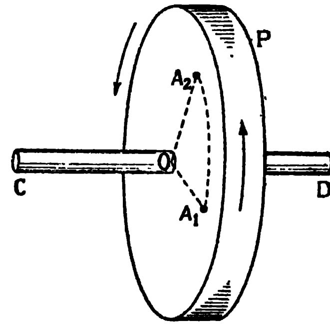
চিত্র ৩১ (*ii*)-তে চলনের বক্রগতি দেখান হইয়াছে। ইহাতে একটি বস্তুর পরিক্রমণ-পথের দিক তীরচিহ্ন দ্বারা সূচিত করা হইয়াছে। বস্তুটির পর পর চারটি অবস্থান দেখিতে পাইতেছ। a_1, a_2, a_3, a_4 দ্বারা বস্তুটির একটি নির্দিষ্ট কণা ঐ চার অবস্থানে পর পর কোথায় আছে দেখান আছে। দ্বিতীয় আর একটি নির্দিষ্ট কণার তৎ-

কালীন অবস্থান দেখান হইয়াছে b_1, b_2, b_3 এবং b_4 দ্বারা। বস্তুটির গতি চলনগতি, কেন-না দেখা যাইতেছে যে কণাদুইটির সংযোগকারী সরলরেখা (যথা a_1b_1, a_2b_2, a_3b_3 ইত্যাদি) বস্তুটির পরিক্রমণ-পথে সর্ব অবস্থাতেই সমান্তরাল আছে। কিন্তু এই চলনগতি বক্র, কেন-না প্রত্যেকটি কণা (যথা a_1, b_1, ইত্যাদি) যে পথ পরিক্রমণ করিয়েছ তাহা সরল নহে, বক্র।

(খ) **ঘূর্ণনগতি**—বিশুদ্ধ ঘূর্ণনগতির লক্ষণ এই যে, ঘূর্ণমান বস্তুটির প্রতিটি ণা একটি নির্দিষ্ট সাধারণ অক্ষের চারিদিকে নিজ নিজ দূরত্ব রক্ষা করিয়া আপন অক্ষপথে বৃত্তাকারে ঘুরিবে। চিত্র ৩২ (*i*)-তে P বলটি O বিন্দুকে কেন্দ্র করিয়া ঘড়ির কাঁটার বিপরীত দিকে ঘুরিতেছে। বলটির মধ্যস্থ একটি কণা (A_1) কিছু সময় পরে A_2-তে পৌঁছিয়াছে দেখান হইয়াছে। O হইতে কণাটির দূরত্ব সমানই আছে অর্থাৎ, $OA_1 = OA_2$। পরিক্রান্ত পথ হইল চাপ A_1A_2। ইহা O-কে কেন্দ্র করিয়া এবং OA_1 ব্যাসার্ধ লইয়া অঙ্কিত বৃত্তের চাপ। কণাটির প্রথম অবস্থান ও দ্বিতীয় অবস্থানের মধ্যে কেন্দ্র O-তে A_1OA_2 কোণ উৎপন্ন হইয়াছে। বস্তুটি সমান সময়ে সমদৈর্ঘ্যের চাপ উৎপন্ন করিলে কেন্দ্রেও সমান কোণ উৎপন্ন করিবে। কেন্দ্র O এবং বস্তু বিন্দু A_1-এর সংযোগকারী সরলরেখাকে ঘূর্ণন-



(*i*)



(*ii*)

চিত্র ৩২

বিন্দু A_1-র ভ্রামক বলা হয়। প্রতি পরবর্তী মুহূর্তেই ভ্রামকটি পূর্বাবস্থা হইতে ঘূর্ণন দিকে সরিয়া যাইবে। চিত্র ৩২ (*ii*)-তে একটি ভারী ফ্লাইহুইল (P) দেখান হইয়াছে। ইহাও ঘড়ির কাঁটার বিপরীত দিকে ঘুরিতেছে। ইহার কেন্দ্রস্থল (O) দিয়া

একটি চালকদণ্ড (axle) (COD) প্রবিষ্ট। বাম দিকের চিত্রের মত এখানেও চক্রটির A_1-এ স্থিত একটি কণা বৃত্তপথে ঘুরিয়া কোন নির্দিষ্ট সময়ান্তরে A_2-তে গিয়াছে দেখান আছে। A_1 কণার ভ্রামক OA_1।

কোন বস্তুর গতি মিশ্র বা জটিল হইতে পারে। কিন্তু যত জটিলই হউক না কেন, যে-কোন গতিকে চলনগতি ও ঘূর্ণনগতির সমবায়ে গঠিত বলিয়া প্রমাণ করা যায়। কোন ঢালুর দিকে বল গড়াইয়া পড়া, রাস্তা দিয়া গাড়ীর চাকার গড়াইয়া চলা, আপন অক্ষের চতুর্দিকে ঘূর্ণমান পৃথিবীর সূর্য-পরিক্রমা প্রভৃতি অসংখ্য রূপের মিশ্র গতি আছে।

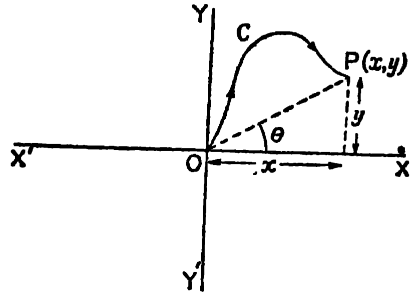
৫৮। গতি-সংক্রান্ত কয়েকটি শব্দের অর্থ :—

দ্রুতি (speed)—এক সেকেণ্ডে একটি বস্তু কোন সরল বা বক্র পথের যে দৈর্ঘ্য অতিক্রম করে উহাকে বস্তুটির দ্রুতি বলা হয়। দ্রুতি জানিতে উহার মান জানা হইলেই সব জানা হইল, গতির দিক্ জানার দরকার নাই। কোন বস্তুর দ্রুতি বলিয়া দিলে উহা এক সেকেণ্ডে কতটা পথ চলে তাহা জানা হয়, কিন্তু কোন্ দিকে যায় তাহা বলা হয় না। সমান সমান সময়ে (এই সময় যত ক্ষুদ্র হউক না কেন) কোন বস্তু সর্বদা সমান সমান পথ অতিক্রম করিলে আমরা বস্তুটির দ্রুতিকে স্থির (uniform) দ্রুতি বলি। অন্যথায় দ্রুতিকে পরিবর্তনশীল (variable) বা অস্থির (non-uniform) বলা হয়। পর্যবেক্ষণকালে দ্রুতির পরিবর্তন খুব সামান্য হইলে ঐ সময়ের গড় দ্রুতি নেওয়া যায়। পরিবর্তনশীল দ্রুতিতে চলমান কোন বস্তু t সময়ে s পথ অতিক্রম করিলে, ইহার গড় দ্রুতি $\frac{s}{t}$; তাহা হইলে, পরিবর্তনশীল দ্রুতিতে 3 মাইল পথ হাঁটিতে 1 ঘণ্টা সময় লাগিলে, গড় দ্রুতি$=\frac{3\times 1760\times 3}{60}=264$ ফুট, প্রতি মিনিটে।

সরণ (displacement)—কোন বস্তু এক স্থান হইতে অন্য স্থানে গেলে ঐ সময়ে বস্তুটির যে অবস্থান-পরিবর্তন ঘটিল তাহাই উহার সরণ। এই অবস্থান-পরিবর্তন নির্দেশ করার উপায় কি? সরল বা বক্র যে পথ ধরিয়াই চলুক না কেন, পর্যবেক্ষণকালে বস্তুটির প্রথম অবস্থান ও শেষ অবস্থান একটি সরলরেখা দ্বারা যোগ করিলে ঐ সরলরেখা বস্তুটির সরণ সূচিত করে। সরণের মান আছে, দিকও আছে। পূর্বোক্ত সরলরেখাটির দৈর্ঘ্য ইহার মানের পরিমাপ। সরলরেখাটির আদি বিন্দু

হইতে শেষ বিন্দুর দিক যে দিক নির্দেশ করে উহাই হইল বস্তুটির সরণের দিক। মান ও দিক নির্দিষ্ট করিয়া না বলিলে সরণ কাহাকে বলে সম্পূর্ণ বলা হয় না।

চিত্র ৩৩-এ কোন সমতলক্ষেত্রে একটি বস্তুর সরণ ব্যাখ্যা করা হইয়াছে। ঐ সমতলে একটি লেখ-তে পারস্পরিকভাবে লম্ব দুইটি অক্ষের ছেদবিন্দু হইল O। বস্তুটি মূল বিন্দু O হইতে যাত্রা করিয়া OCP পথে তীরচিহ্ন ধরিয়া চলিয়া P বিন্দুতে উপনীত হইয়াছে। এক্ষেত্রে বস্তুটির সরণের মান হইল OP সরলরেখার বিন্দু বিন্দু চিহ্নিত দৈর্ঘ্যের সমান। সরণের দিক হইতেছে বিন্দুচিহ্ন-অঙ্কিত সরলরেখা বরাবর O হইতে P-র দিক্। চিত্রে দেখান হইয়াছে যে, সরণের দিক মূল বিন্দু O-তে X-অক্ষের সহিত θ কোণে আছে ; P বিন্দুর ভুজ (abscissa) x এবং কোটি (ordinate) y হইলে,



চিত্র ৩৩

$$OP = \sqrt{x^2 + y^2}, \text{ এবং } \tan\theta = \frac{y}{x}।$$

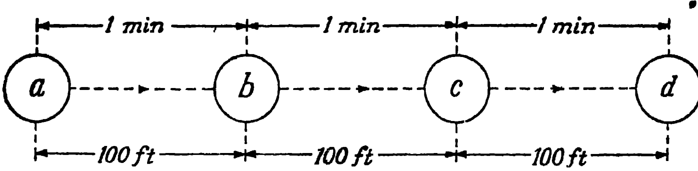
গতিবেগ (velocity)—সময়ের সহিত সরণের পরিবর্তন-হারকে গতিবেগ বলে। অর্থাৎ, এক সেকেণ্ডে সরণের পরিমাণ হইল সরণের দিকে বস্তুর গতিবেগ। সরণের মান ও দিক আছে ; তাই গতিবেগেরও মান ও দিক আছে। স্পষ্টতঃই তাহা হইলে গতিবেগের পরিবর্তন বলিতে উহার মান বা দিক যে-কোনটির বা উভয়েরই পরিবর্তনের কথা বলা হইতে পারে।

স্থির গতিবেগ (uniform velocity)—সমান সমান সময়ে (এই সময় যত ক্ষুদ্রই হউক না কেন) কোন বস্তু একই দিকে সমান সমান পথ অতিক্রম করিলে আমরা বস্তুটির গতিবেগকে স্থির বলি। অন্যথা উহার গতিবেগকে পরিবর্তনশীল বলা হয়।

গতিবেগ স্থির হইলে, বস্তুটি t সময়ে s পথ গেলে, উহার গতিবেগ $v = \frac{s}{t}$।

চিত্র ৩৪-এ স্থির গতিবেগে ধাবমান একটি বস্তুকে দেখান হইয়াছে। a, b, c ও d দ্বারা ইহার 1 মিনিট পর পর অবস্থান সূচিত হইতেছে। সময়ের ব্যবধান সব সমান এবং বস্তুটি স্থির গতিবেগসম্পন্ন বলিয়া উহার একের পর আর-এক অবস্থানের মধ্যে দূরত্বও সর্বক্ষেত্রেই এক (100 ফুট দেখান হইয়াছে)। প্রতি মিনিটে বস্তুটির সরণ তাহা হইলে

হইল 100 ফুট। অতএব ইহার গতিবেগ = 100 ফুট, প্রতি মিনিটে ; অথবা, $\frac{100}{60} = \frac{5}{3}$ ফুট, প্রতি সেকেণ্ডে।



চিত্র ৩৪

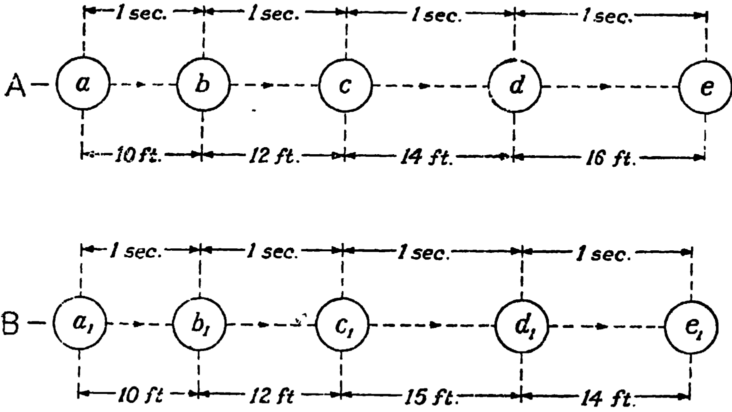
সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে গতিবেগের পরম একক (absolute unit) হইল 1 সেন্টিমিটার, প্রতি সেকেণ্ডে। এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে গতিবেগের পরম একক হইল 1 ফুট, প্রতি সেকেণ্ডে। গতিবেগের ব্যবহারিক একক (practical unit) অবশ্য অনেক আছে ; গতিবেগের মান যেরূপ ব্যবহারিক এককও উহার উপযোগী ভাবে লইতে হয়—যেমন, 1 কিলোমিটার, প্রতি ঘণ্টায় বা 1 মাইল, প্রতি ঘণ্টায় বা 1 ফুট, প্রতি মিনিটে। এইরূপ নানা ব্যবহারিক একক অবস্থা বিশেষে প্রয়োজন হয়। গতিবেগ কোন একটি এককে ব্যক্ত করা থাকিলে উহাকে অন্য উপযোগী এককে বা ভিন্ন পদ্ধতির এককে রূপান্তরিত করা যায়—যথা, মাইল, প্রতি ঘণ্টায়-কে, $\frac{1760 \times 3}{60 \times 60}$ বা $\frac{22}{15}$ দিয়া গুণ করিয়া ফুট, প্রতি সেকেণ্ডে, পাওয়া যায়। স্থির গতিবেগ 60 মাইল, প্রতি ঘণ্টায়, হইলে উহা $60 \times \frac{22}{15} = 88$ ফুট, প্রতি সেকেণ্ডে, হয়।

ত্বরণ (acceleration)—সময়ের সহিত গতিবেগ-বৃদ্ধির হারকে ত্বরণ বলা হয়। অতএব এক সেকেণ্ডে গতিবেগ যতটা বৃদ্ধি পায় তাহা হইল ত্বরণ। ত্বরণের পরম একক হইল 1 সেন্টিমিটার, প্রতি সেকেণ্ডে, প্রতি সেকেণ্ডে ; অথবা 1 ফুট, প্রতি সেকেণ্ডে, প্রতি সেকেণ্ডে। সংক্ষেপে, এই একক দুইটিকে 1 সেন্টিমিটার প্রতি বর্গ সেকেণ্ডে এবং 1 ফুট, প্রতি বর্গ সেকেণ্ডে, বলা যায়।* ত্বরণ গতিবেগ-পরিবর্তনের হার বলিয়া গতিবেগের মত ত্বরণেরও মান ও দিক্ দুইই আছে।

সময়ের সহিত গতিবেগ-হ্রাসের হারকে **মন্দন** (retardation) বলে। বীজগণিতের ধারণা অনুযায়ী বলা যায় যে, মন্দন ঋণ (-ve) ত্বরণ মাত্র। ট্রেণ যখন ষ্টেশন ছাড়িয়া যায়, তখন ইহার গতিবেগ ধীরে ধীরে বাড়িতে থাকে ও ইহার ত্বরণ আছে বলা হয়।

* ত্বরণের এককের হারে সময়ের এককটি দুই বার আছে। সময়ের একক একবার বসে গতিবেগের একক নির্দেশের জন্য। ত্বরণ বাহির করিতে গতিবেগের পরিবর্তনকে সময় দিয়া ভাগ করিতে হয় তাই ত্বরণের এককের হরে সময়ের একক আর-একবার বসান দরকার।

অন্য আর-একটি ষ্টেশনের কাছে আসিয়া গেলে ট্রেনটির গতিবেগ ধীরে ধীরে কমিতে থাকে। তখন বলা যায় যে, ইহার মন্দন বা ঋণ ত্বরণ হইতেছে। কোন প্রস্তরখণ্ড উপর দিকে ছুঁড়িয়া দিলে ইহা ঋণ ত্বরণ বা মন্দন অবস্থাধীনে শেষ পর্যন্ত সর্বোচ্চ উচ্চতায় গিয়া পৌছে। সর্বোচ্চ অবস্থানে ইহার গতিবেগ হয় শূন্য। তারপর ইহা পুনঃ ত্বরণসম্পন্ন হইয়া পৃথিবী পৃষ্ঠের দিকে নামিয়া আসে।



চিত্র ৩৫

ত্বরণ স্থিরও হইতে পারে, পরিবর্তনশীলও হইতে পারে। সমান সমান সময়ে গতিবেগের সমান সমান পরিবর্তন হইলে ত্বরণকে স্থির বলা যায়। অন্যথা ত্বরণকে পরিবর্তনশীল বলা হয়। চিত্র ৩৫-এর উপরের ভাগে স্থির ত্বরণ কাহাকে বলে বুঝান হইয়াছে। এখানে *A*-বস্তুটির এক সেকেণ্ড সময় অন্তর অন্তর বিভিন্ন অবস্থান (*a*), (*b*), (*c*), (*d*) ও (*e*) দ্বারা দেখান হইয়াছে। প্রথম সেকেণ্ডে বস্তুটি গিয়াছে ১০ ফুট, দ্বিতীয় সেকেণ্ডে ১২ ফুট, তৃতীয় সেকেণ্ডে ১৪ ফুট ও চতুর্থ সেকেণ্ডে ১৬ ফুট। তাহা হইলে প্রথম সেকেণ্ডে ইহার গড় গতিবেগ ছিল 10 ফুট, প্রতি সেকেণ্ডে, দ্বিতীয় সেকেণ্ডে 12, তৃতীয়তে 14 ও চতুর্থে 16। তাহা হইলে প্রতি সেকেণ্ডে গড় গতিবেগ বদলাইয়াছে 2 ফুট, প্রতি সেকেণ্ডে। অতএব স্থির ত্বরণ হইল 2 ফুট প্রতি বর্গ সেকেণ্ডে। চিত্র ৩৫-এর নিম্ন অংশে পরিবর্তনশীল ত্বরণের দৃষ্টান্ত দেখান হইয়াছে। এক্ষেত্রে প্রতি সেকেণ্ডের গতিবেগের পরিবর্তনের পরিমাণ সমান নয়।

৫৯। ভেক্টর ও স্কেলার (vectors and scalars) :—সরণ, গতিবেগ, ত্বরণ প্রভৃতি বিষয়ের মত যেসব বিষয়ের পূর্ণ পরিচিতির জন্য মান ও দিক উভয়ই

নির্দেশ করিতে হয় উহাদিগকে অভিহিত করার সাধারণ নাম হইল ভেক্টর। আবার ভর, সময় ইত্যাদি অপরাপর অনেক বস্তু বা বিষয় আছে যাহাদের দিক বলিয়া কিছু নাই, আছে মান মাত্র। ইহাদিগকে অভিহিত করার সাধারণ নাম হইল স্কেলার।

একটি সংখ্যা দ্বারাই কোন স্কেলারকে ব্যক্ত করা যায়। কোন ভেক্টরকে সূচিত করা যায় একটি সরলরেখার দ্বারা। সরলরেখার দৈর্ঘ্য ভেক্টরের মানের আনুপাতিকভাবে নেওয়া হয় এবং সরলরেখার উপর অঙ্কিত তীরচিহ্নের দিক ভেক্টরটির দিক সূচিত করে।

৬০। ভেক্টর ও স্কেলারের যোগ-বিয়োগ প্রণালী (Addition and subtraction of vectors):—

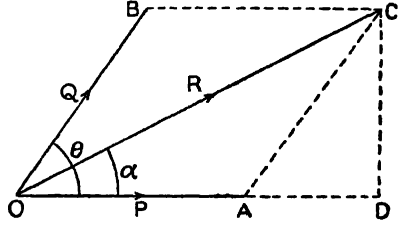
স্কেলার—স্কেলারগুলি একজাতীয় হইলে বীজগণিতের সাধারণ নিয়মানুযায়ী উহাদের যোগ-বিয়োগ করা চলে। ইহার অর্থ এই যে, প্রত্যেকটি স্কেলার ধনাত্মক না ঋণাত্মক তাহা ঠিক ঠিক মত জানিতে হইবে। একটি তুলা দ্বারা ওজন করিতে গিয়া কোন বস্তুর ভর যদি 20 গ্রাম, 5 গ্রাম ও 20 মিলিগ্রাম প্রভৃতি ভরের সমষ্টির সমান হইয়া থাকে, তাহা হইলে বস্তুটির ভর=(20+5+0·02)=25·02 গ্রাম। এবার মনে কর, কিছু জলসহ একটি বীকারের ভর 250 গ্রাম। খালি বীকারটির ভর 50 গ্রাম। তাহা হইলে জলের ভর=(250−50)=200 গ্রাম। মনে রাখিও যে, একই জাতীয় না হইলে দুইটি স্কেলারকে যোগ বা বিয়োগ করা যায় না। ভরের সহিত ভরই যোগ করা যায়। ভর হইতে কেবল ভরই বিয়োগ করা চলে। ভরের সহিত সময়ের যোগ বা ভর হইতে সময় বিয়োগ, অসম্ভব ব্যাপার

ভেক্টর—একই জাতীয় দুইটি ভেক্টরকে যোগ বা বিয়োগ করা যায়। দৃষ্টান্তস্বরূপ বলা যাইতে পারে যে, সরণের সহিত সরণই কেবল যোগ বা বিয়োগ করা চলে। সরণের সহিত গতিবেগ বা গতিবেগের সহিত ত্বরণ যোগ বা বিয়োগ করার প্রশ্ন ওঠে না। ভেক্টরের যেমন মান আছে তেমন দিকও আছে। তাই ভেক্টরের যোগ-বিয়োগ বীজগণিতের নিয়ম অনুযায়ী করা যায় না, জ্যামিতিক পদ্ধতি অনুযায়ী ইহা করিতে হয়।

(ক) ভেক্টরের যোগ—ভেক্টরের যোগ করিতে হয় 'ভেক্টরের সামান্তরিক সূত্র' অনুযায়ী। সূত্রটি এই যে, যদি একই বিন্দুতে মিলিত দুইটি ভেক্টরকে ঐ বিন্দু হইতে টানা কোন এক সামান্তরিকের দুই সন্নিহিত বাহু দ্বারা, মানে ও দিকে, নির্দিষ্ট করা হয়, তাহা হইলে ভেক্টর দুইটির যোগফল (resultant), মানে ও দিকে, উক্ত বিন্দু হইতে টানা সামান্তরিকটির কর্ণের সমান হইবে।

এই সূত্র একজাতীয় যে-কোন দুইটি ভেক্টরের ক্ষেত্রেই প্রযোজ্য।

মনে কর, $O\ B\ C\ A$ একটি সামান্তরিক (চিত্র ৩৬)।



চিত্র ৩৬

ইহার OA বাহুর দৈর্ঘ্য দ্বারা এবং O হইতে A দিক্ দ্বারা P ভেক্টরের [মান] ও দিক্ যথাক্রমে সূচিত হইতেছে। আবার OA-র সন্নিহিত বাহু OB-র দৈর্ঘ্য দ্বারা এবং O হইতে B দিক দ্বারা Q ভেক্টরের মান ও দিক্ সূচিত হইতেছে। ধরা যাক্, OA এবং OB-র অন্তর্ভূত কোণ$=\angle BOA=\theta$। এখন $OBCA$ সামান্তরিকের কর্ণ OC (OA এবং OB, O-তে মিলিত হইয়াছে বলিয়া), মানে ও দিকে, ভেক্টর-দুইটির লব্ধি (resultant) R-কে সূচিত করিবে। মনে কর, OC ও OA-র অন্তর্ভূত কোণ$=\angle AOC=\alpha$। লব্ধি R (মানে ও দিকে) নির্ণয় করিতে হইবে।

মনে কর CD, বর্ধিত OA-র উপর D বিন্দুতে অভিলম্ব। পিথাগোরাসের উপপাদ্য

$$\begin{aligned}OC^2&=(OA+AD)^2+CD^2\\&=OA^2+AD^2+2\times OA\times AD+CD^2\\&=OA^2+AC^2+2\times OA\times AD,\ (\because AC^2=AD^2+CD^2)\\&=OA^2+AC^2+2\times OA\times AC\cos\theta,\\&=OA^2+OB^2+2\times OA\times OB\cos\theta,\ (\because AC=OB);\end{aligned}$$

অথবা, $$R^2=P^2+Q^2+2\times P\times Q\times\cos\theta \qquad \cdots \qquad \cdots \qquad (১)$$

সঙ্কেতসূত্র (১) হইতে স্পষ্টতঃই বোঝা যাইতেছে যে, P, Q ও উহাদের অন্তর্ভূত কোণ θ জানা থাকিলে P এবং Qর লব্ধি R-এর মান নির্ণয় করা যায়। লব্ধি R, P-র সহিত কত কোণ করিয়াছে তাহা যদি জানা যায় তবে R-এর দিকও নির্ণীত হইয়া যায়। এই কোণ হইল $\angle AOC$ বা α।

$$\tan\alpha=\frac{CD}{OD}=\frac{CD}{OA+AD}=\frac{AC\sin\theta}{OA+AC\cos\theta}=\frac{Q\sin\theta}{P+Q\cos\theta}\ \cdots \qquad (২)$$

দ্রষ্টব্য : $\angle\theta$ স্থূল হইলে, D, O এবং A-র মধ্যে থাকিবে।

কিন্তু সে ক্ষেত্রেও R-এর মান ও দিক-সংক্রান্ত সম্পর্ক সঙ্কেতসূত্র (১) এবং (২)-এর দ্বারা নির্ধারিত হয়।

বিশেষ ক্ষেত্র : $\theta = 90^\circ$ হইলে অর্থাৎ যোজনীয় ভেক্টর-দুইটি (P এবং Q) পরস্পরের উপর লম্ব হইলে, $OBCA$ ক্ষেত্র একটি আয়তক্ষেত্রে পরিণত হইবে ; CA, OD-র উপর A বিন্দুতে লম্ব হইবে এবং $R^2 = P^2 + Q^2$ হইবে ··· (৩)

[$R^2 = P^2 + Q^2 + 2P \times Q \times \cos\theta = P^2 + Q^2 + 2P \times Q \times \cos\ 90^\circ = P^2 + Q^2 + 2P \times Q \times 0 = P^2 + Q^2$, ($\because \cos 90^\circ = 0$) ।]

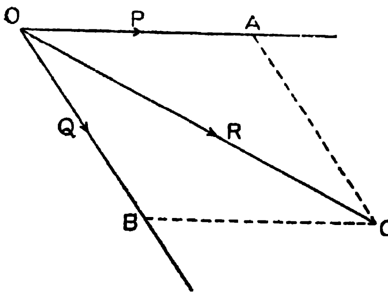
(২) $\theta = 0^\circ$ হইলে, ভেক্টর-দুইটি একই দিকে কাজ করিবে এবং লব্ধি $R = P + Q$ হইবে। কারণ, $R^2 = P^2 + Q^2 + 2P \times Q \times \cos 0^\circ$
$= P^2 + Q^2 + 2P \times Q \times 1$, ($\because \cos 0^\circ = 1$) $= (P + Q)^2$; বা, $R = P + Q$ ।
অর্থাৎ, লব্ধি ভেক্টরটি মূল ভেক্টর-দুইটির যোগফলের সমান হইবে এবং উহাদের দিকেই কাজ করিবে।

(৩) $\theta = 180^\circ$ হইলে, ভেক্টর-দুইটি একই সরলরেখায় কিন্তু ঠিক বিপরীত দিকে কাজ করিবে এবং লব্ধি $R = P - Q$ হইবে।

কারণ, $R^2 = P^2 + Q^2 + 2P \times Q \cos\ 180^\circ = P^2 + Q^2 + 2P \times Q \times (-1)$
$= P^2 + Q^2 - 2P \times Q = (P - Q)^2$; বা, $R = P - Q$ ।

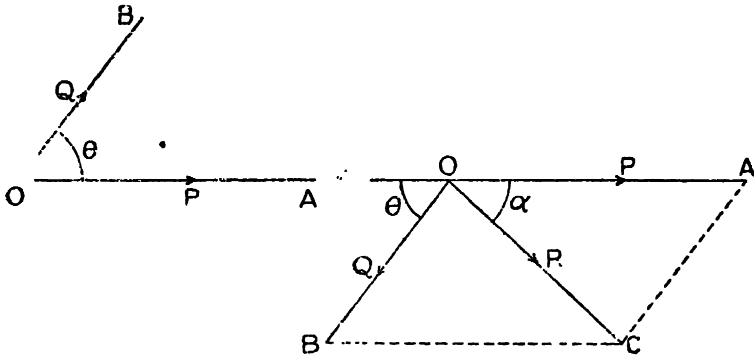
এক্ষেত্রে লব্ধি ভেক্টরটি মূল ভেক্টর-দুইটির বিয়োগফলের সমান হইবে এবং লব্ধি ভেক্টর P এবং Q-র মধ্যে বৃহত্তরটির দিকে কাজ করিবে।

দৃষ্টান্ত : চিত্র ৩৭-এ O বিন্দুস্থিত একটি নৌকা O হইতে A-র দিকে P গতিবেগে যাইতেছে দেখান হইয়াছে। বায়ু, Q গতিবেগে O হইতে B-র দিকে বহিতেছে। O A-র দিকে P-র আনুপাতিক OA অংশ এবং OB-র দিকে Q-র আনুপাতিক OB অংশ কাটিয়া লও। $OACB$ সামান্তরিক সম্পূর্ণ করিয়া উহার কর্ণ OC টানো। OCই লব্ধি R-এর মান ও দিক সূচিত করিবে। তাহা হইলে একক সময় পরে, নৌকাটি C বিন্দুতে গিয়া পৌছিবে। ইহা প্রকৃতপক্ষে OC পথ ধরিয়া চলিবে। লক্ষ্য কর যে, OA এবং OB সামান্তরিকটির সন্নিহিত বাহু। ইহারা O বিন্দুতে মিলিত হইয়াছে। O হইতে কর্ণ OC টানিতে হইবে।



চিত্র ৩৭

(খ) **ভেক্টরের বিয়োগ**—ভেক্টরের বিয়োগ জ্যামিতিক নিয়মে করিতে হয়। প্রথম একটি ভেক্টর হইতে দ্বিতীয় একটি ভেক্টর বিয়োগ করিতে হইলে দ্বিতীয় ভেক্টরের সমান কিন্তু বিপরীতমুখী একটি ভেক্টরকে 'ভেক্টরের সামান্তরিক সূত্র' অনুযায়ী প্রথম ভেক্টরের সহিত যোগ কর। এই লব্ধি ভেক্টরই ভেক্টর-দুইটির বিয়োগ ফল হইবে। ধরা যাক্, চিত্র ৩৮-এর (বাম অংশ) P বা OA ভেক্টর হইতে Q বা OB ভেকটর বিয়োগ করিতে হইবে। চিত্রের ডাইন অংশে স্বতন্ত্রভাবে P ভেকটরটিকে OA দ্বারা দেখান হইয়াছে। Q-র বিপরীত দিকে Q-র মানের সমান এবং সমান্তরাল একটি ভেক্টর O বিন্দু হইতে OB সরলরেখা-দ্বারা টানো। এখন $OACB$



চিত্র ৩৮

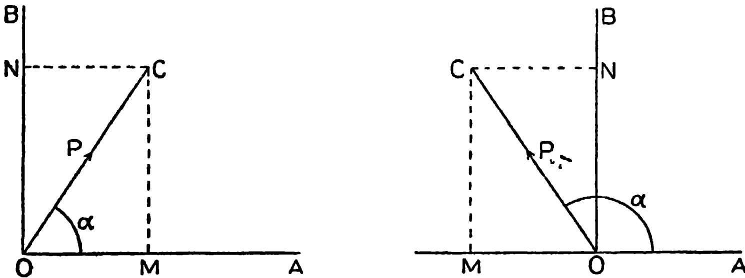
সামান্তরিক সম্পূর্ণ করিলে কর্ণ OC হইবে লব্ধি R। দুইটি ভেক্টরের আপেক্ষিক তুলনা করিতে হইলে (যথা, আপেক্ষিক গতি নির্ণয়ে) ভেক্টর বিয়োগের প্রয়োজন হয়। এ বিষয়ে অনুচ্ছেদ ৬৩-তে বিস্তারিতভাবে বলা হইবে।

৬১। ভেক্টরের সংযোজন (composition) ও বিযোজন (resolution) :—

(ক) **ভেক্টরের সংযোজন**—কোন কণার উপর একই ধরণের অনেকগুলি ভেক্টর, যথা $P, Q, S,$ ইত্যাদি, একই সঙ্গে ক্রিয়া করিলে P, Q, S ইত্যাদির লব্ধি R বাহির করাকে ভেক্টরের সংযোজন বলে। অনুচ্ছেদ ৬০-এ দুইটি ভেক্টর যোগ করিবার প্রণালী ব্যাখ্যা করা হইয়াছে। অনেকগুলি ভেক্টর থাকিলে ইহার যে-কোন দুইটির লব্ধি (resultant) ঐভাবে বাহির করা যায়। এখন এই লব্ধির

সহিত তৃতীয় ভেক্টর একত্র করিয়া অন্য একটি লব্ধি পাওয়া যাইবে। এইভাবে ক্রমান্বয়ে সকল ভেক্টর নিঃশেষ করিয়া শেষ লব্ধি বাহির করা হয়।

(খ) ভেক্টরের বিযোজন—একই বিন্দুতে বিভিন্ন দিকে ক্রিয়ারত দুইটি ভেক্টরকে সংযোজিত করিয়া একটি লব্ধি ভেক্টর নির্ণয় করা যায়। আবার একটি ভেক্টরকে দুইটি বিভিন্ন দিকে আংশিক ভেক্টরে বিযোজিত করা চলে। ভেক্টরটিকে কর্ণরূপে একটি সামান্তরিক আঁকো। ভেক্টরের প্রয়োগবিন্দুতে যে দুইটি সন্নিহিত বাহু মিলিত হইয়াছে, মানে এবং দিকে উহারা হইবে বিযোজিত আংশিক ভেক্টর। একটি নির্দিষ্ট ভেক্টরকে এইরূপে যে দুইটি ভেক্টরে বিযোজিত করা যায় উহারা মোটেই নির্দিষ্ট নয়, কারণ একই কর্ণ অসংখ্য সামান্তরিকের কর্ণ হইতে পারে। বিযোজনের দিক্-দুইটি নির্দিষ্ট করিয়া দিলে, প্রদত্ত ভেক্টরটিকে কর্ণরূপে মাত্র একটি সামান্তরিক আঁকা সম্ভব হয় অর্থাৎ এই ক্ষেত্রে বিযোজিত আংশিক ভেক্টর-দুইটি নির্দিষ্ট হইয়া যায়।



চিত্র ৩৯

৬২। একটি ভেক্টরকে দুইটি ভেক্টরে বিযোজন—ইহার একটি হইবে কোন নির্দিষ্ট দিকে ও অন্যটি প্রথম দিকের লম্ব দিকে :—

চিত্র ৩৯-এ O বিন্দুতে OC দিকে ক্রিয়ারত এক ভেক্টর P দেখান হইয়াছে। OA দিক OC-র সহিত α কোণে আছে। OB দিক O বিন্দুতে OA-র উপর লম্ব। P বা OC-কে OA ও OB এই দুই দিকে দুইটি ভেক্টরে বিযোজিত করিতে হইবে। দুইটি চিত্র দেখান হইয়াছে। বাম চিত্রে OC এবং OA-এর অন্তর্ভুক্ত কোণ α সূক্ষ্মকোণ, আর ডাইন চিত্রে α স্থূলকোণ। উভয় ক্ষেত্রেই $CMON$ আয়তক্ষেত্র সম্পূর্ণ করিলে ইহা সহজেই বোঝা যায়, OC বা P, OM ও ON এই দুইটি ভেক্টরের সংযোজনের দ্বারা লব্ধ ভেক্টর হইবে। অর্থাৎ OC ভেক্টরকে OM ও ON ভেক্টরে বিযোজন করা যাইতে পারে।

ত্রিকোণমিতির সাহায্যে বুঝিতেছ,

$$OM = P \cos \alpha \quad \cdots \quad \cdots \quad (১)$$

$$ON = P \sin \alpha \quad \cdots \quad \cdots \quad (২)$$

৬৩। কোন এক নির্দিষ্ট দিকে একটি ভেক্টরের বিযোজিত অংশ (The resolved part of a vector in a definite direction).—

চিত্র ৩৯ অনুযায়ী, ভেক্টর P-র সহিত α কোণ করে এইরূপ কোন দিকে P ভেক্টরের বিযোজিত অংশ হইল $P \cos \alpha$ এবং উহার লম্ব দিকে বিযোজিত অংশ হইল $P \sin \alpha$। তাহা হইলে, কোন এক নির্দিষ্ট দিকে কোন এক ভেক্টরের কার্যকর অংশ পাইতে হইলে উক্ত ভেক্টরের মানকে ঐ দিক্ ও ভেক্টরের দিকের অন্তর্ভূত কোণের কোসাইন (cosine) দিয়া গুণ করিতে হইবে। যে-কোন দিকে একটি মূল ভেক্টরের বিযোজিত আংশিক ভেক্টর হইল ঐ দিকে মূল ভেক্টরটির কার্যকর অংশ কারণ, লম্ব দিকের বিযোজিত আংশিক ভেক্টরের এই দিকে কোন ক্রিয়া নাই।

মনে রাখিবে, আপন দিকের লম্ব দিকে কোন ভেক্টরের কোন ক্রিয়া নাই। কারণ লম্ব দিকে বিযোজিত অংশ = ভেক্টরের মান × $\cos 90°$ = ভেক্টরের মান × $0 = 0$।

বল : নিউটনের গতিসূত্রাবলী

(Force : Newton's Laws of Motion)

৬৪। **বল :—** টান (pull) ও ধাক্কা (push) কাহাকে বলে তাহা সকলেই আপন অভিজ্ঞতা হইতে জানে। এই কথা-দুইটিকেই মূলতঃ পদার্থবিজ্ঞানে বল (force) শব্দটির দ্বারা বোঝান হয়। বলের অর্থ সর্বদাই কোন টান বা ধাক্কা। টান বা ধাক্কার ফলে কোন বস্তুর কি হয় তাহা বস্তুটির ভর ও আপেক্ষিক অবস্থানের উপর নির্ভর করে। বস্তুটি নাও নড়িতে পারে, অল্প গতি পাইতে পারে, আবার অধিক গতিও পাইতে পারে। টেবিলের উপরে মার্বেলটি আঙুলের ডগার সামান্য ধাক্কাতেই গড়াইয়া যাইবে। কিন্তু আঙুলের ডগা দিয়া একটি টেবিলকে নড়ান যাইবে না। তবে দুই হাত দিয়া জোরে ধাক্কা দিলে টেবিলটি নড়িবে। কোন চলমান বস্তুর উপর টান বা ধাক্কার ফল বুঝিতে হইলে টান বা ধাক্কার দিক কি তাহা বুঝিতে হইবে। একটি চলন্ত গোলককে যদি গতির দিকে ধাক্কা দেওয়া যায়, তাহা হইলে ইহা আরও দ্রুত চলিবে। তুমি যদি নৌকা চালাইতে থাক আর বায়ু বিপরীত দিকে বহিতে থাকে, তাহা হইলে তোমার নৌকার গতি কমিয়া যাইবে। উপরোক্ত প্রত্যেক ক্ষেত্রেই

কোন-না কোন টান বা ধাক্কার দরুণ বস্তুর স্থিরতা অথবা স্থিরগতি পরিবর্তিত হয় অথবা পরিবর্তিত হইবার উপক্রম করে। তাই বলিতে পারা যায়—

যে কারণ কোন বস্তুর স্থিরতায় অথবা স্থিরগতিতে পরিবর্তন আনে বা আনিতে চায় তাহাই 'বল'। পৃথিবীর আকর্ষণের বা অভিকর্ষের বলই ফলকে মাটিতে টানিয়া আনে। প্রকৃতিজ সর্বপ্রকার 'বলের' মধ্যে অভিকর্ষ বলই আমাদের সবচেয়ে বেশি জানা।

দ্রষ্টব্য ঃ মনে কর, কোন বস্তুর কোন-এক বিন্দুতে একটি বল প্রযুক্ত হইয়াছে। এই বিন্দুটির সহিত দৃঢ়ভাবে সংবদ্ধ এবং বলটি যে সরলরেখা ধরিয়া কাজ করিতেছে উহার উপর অবস্থিত অন্য সকল বিন্দুতেও ঐ একই বল কাজ করে বলা যায়। যে কোন অনমনীয় বস্তুর ক্ষেত্রেই এই কথা প্রযোজ্য।

৬৫। **বলসাম্য বিদ্যা** (Mechanics of the equilibrium of forces) ঃ—

কতকগুলি বল একটি বস্তুর উপর ক্রিয়া করা সত্ত্বেও যদি বস্তুটি স্থির থাকে তাহা হইলে আমরা বলি যে বলগুলির মধ্যে সাম্য (equilibrium) স্থাপিত হইয়াছে। কাছি টানাটানি (টাগ্ অব ওয়ার) প্রতিযোগিতায় প্রতিপক্ষ দুই দল ঠিক সমান বলশালী হইলে দড়িটি কোন দিকেই নড়ে না বা সরে না। দুইটি বল মানে সমান এবং বিপরীত-মুখী বলিয়াই এইরূপ ঘটে। এইক্ষেত্রে বলগুলি সাম্য অবস্থায় থাকে এবং দড়ি ও প্রতিযোগিগণের মিলিত সংস্থা (system) স্থির থাকে। এই টাগ্ অব ওয়ার প্রতিযোগিতা যদি স্থির গতিবেগে চলমান কোন জাহাজের ডেকের উপর হয়, তাহা হইলেও, উক্ত সংস্থার সাম্য জাহাজটির গতির দ্বারা বিন্দুমাত্র ব্যাহত হইবে না। অর্থাৎ কতগুলি বস্তুর একটি সংস্থা সামগ্রিকভাবে গতিশীল হইলেও উহার আভ্যন্তরিক বলসাম্যে ব্যাঘাত ঘটে না। এই ধরণের সকল প্রকার বলসাম্যই স্থিতিবিদ্যার বিষয়বস্তু।

বলসাম্য আনিতে হইলে অন্ততঃ দুইটি বলের প্রয়োজন। তিনটি বল' বলসাম্য অবস্থায় থাকিলে উহাদের যে-কোন দুইটির সংযোজনের লব্ধি বল অন্যটির সমান এবং বিপরীতমুখী হইবে। তিনটি বলে সাম্য থাকিলে হয় উহারা একই তলে পরস্পরের সমান্তরাল হইবে, নতুবা একই সমতলে থাকিয়া একটি বিন্দুতে আসিয়া মিলিত হইবে। ঐ তিনটি বলের ভেক্টর যোগফল অবশ্যই শূন্য হইবে।

দ্রষ্টব্য ঃ যেহেতু দুইটি সমমানের বিপরীতমুখী বল একই বিন্দুতে ক্রিয়া করিলে পরস্পর সাম্য অবস্থায় থাকে, তাই বলা যায় যে, কোন অনমনীয় (rigid) বস্তুর একটি বিন্দুতে দুইটি বিপরীতমুখী সমান মানের বল প্রয়োগ করা হইলে বস্তুটির সাম্যে কোন

ব্যাঘাত ঘটে না। বস্তুটি শুরুতে ঠিক থাকিলে, এখনও স্থির থাকিবে, অথবা কোন নির্দিষ্ট গতিবেগে চলিতে থাকিলে, এখনও সেইভাবে চলিতে থাকিবে।

৬৬। বল বুঝাইবার পদ্ধতি (Representation of a force) :—

বলমাত্রেরই নির্দিষ্ট মান এবং ক্রিয়ার নির্দিষ্ট দিক্ আছে। সুতরাং বল একটি ভেক্টর। অতএব অন্যান্য ভেক্টরের মত বলেরও (ক) একটি প্রয়োগবিন্দু থাকিবে, (খ) ক্রিয়ার একটি নির্দিষ্ট দিক থাকিবে, ও (গ) একটি নির্দিষ্ট মান থাকিবে। সুতরাং ান বিন্দু হইতে টানা সরলরেখার দ্বারা বলকে ঝুলাইলে ঐ বিন্দুটি বল-ভেক্টরের প্রয়োগবিন্দু হইবে, সরলরেখাটির তীরচিহ্নিত দিক্ বলের ক্রিয়ার দিক দেখাইবে এবং সরলরেখাটির দৈর্ঘ্য বলের মানের আনুপাতিক হইবে।

৬৭। বলের সংযোজন ও বিযোজন (Composition and resolution of forces) :—

অনুচ্ছেদ ৬১-তে ভেক্টরের সংযোজন ও বিযোজন পদ্ধতির কথা বলা হইয়াছে। বল একটি ভেক্টর বলিয়া ঐ একই পদ্ধতি বলের ক্ষেত্রেও সর্বথা প্রযোজ্য হইবে। অর্থাৎ, ভেক্টরের সামান্তরিক সূত্র প্রয়োগ করিয়াই বলের সংযোজন ও বিযোজন করা হইয়া থাকে।

৬৮। বস্তুর উপর বাহ্য বলের ক্রিয়া :—

অনুচ্ছেদ ৬৪-তে বলা হইয়াছে যে, বল বস্তুর স্থিতাবস্থা বা স্থিরগতির অবস্থা বদ্‌লায় বা বদলাইবার উপক্রম করে। গতি আবার দুই প্রকারের হয়—চলনগতি ও ঘূর্ণনগতি। বাহিরের বল কিভাবে প্রযুক্ত হইলে চলন গতির এবং কিভাবে প্রযুক্ত হইলে ঘূর্ণন-গতির সৃষ্টি করে তাহা দেখা যাক্।

(১) বস্তুটি যদি চলনক্ষম এবং ঘূর্ণনক্ষম এই উভয় প্রকারেরই হয় তাহা হইলে, বল কোন্ বিন্দুতে প্রযুক্ত হইল, তাহাই গতির প্রকার ঠিক করিয়া দিবে।

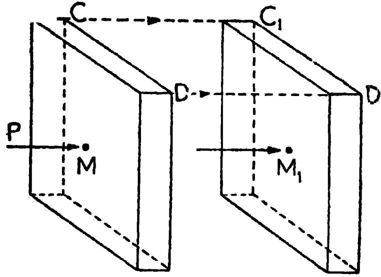
(ক) প্রযুক্ত বলের দিক যদি বস্তুটির ভরকেন্দ্রের (centre of mass)* মধ্য দিয়া যায়, তাহা হইলে প্রযুক্ত বলের ক্রিয়ায় বস্তুটি চলনগতি লাভ করিবে।

(খ) প্রযুক্ত বলের দিক্ বস্তুটির ভরকেন্দ্রের মধ্য দিয়া না গেলে বস্তুটি চলনগতি ও ঘূর্ণনগতি দুই-ই লাভ করিবে।

---

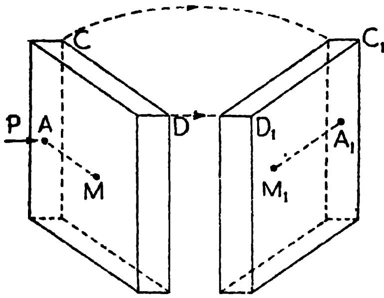
* ভর m কোন বিন্দু বা সমতল হইতে r দূরে থাকিলে, $m \times r$ কে ঐ বিন্দু বা সমতলের জন্য ভর m-এর মোমেণ্ট (moment) বলা হয়। কোন বস্তুর ভরকেন্দ্র এইরূপ একটি নির্দিষ্ট বিন্দু যে, ঐ বিন্দুর মধ্য দিয়া কোন সমতল কল্পনা করা হইলে, ঐ সমতলের এক পার্শ্বের সকল বস্তু কণার মোট ভর-মোমেণ্ট (mass moment), অন্য পার্শ্বের সকল বস্তু কণার মোট ভর-মোমেণ্টের সমান হইবে। নিয়মিত আকারবিশিষ্ট বস্তুমাত্রেরই (ঘনক, গোল ইত্যাদির) জ্যামিতিক কেন্দ্র হইবে উহার ভরকেন্দ্র।

চিত্র ৪০, (*a*)-তে দেখান হইয়াছে যে, *CD* বস্তর উপর একটি বল (*P*) বস্তুটির ভরকেন্দ্র *M*এর ভিতর দিয়া এক সরলরেখা বরাবর কাজ করিতেছে। এক্ষেত্রে, বস্তুটি নিজের সহিত সমান্তরাল থাকিয়া, *CD* অবস্থান হইতে C_1D_1 অবস্থানের দিকে সরিয়া যাইবে, অর্থাৎ গতি চলনগতি হইবে। বস্তুটি মুক্ত। চলনগতি ও ঘূর্ণনগতি এই উভয় প্রকার গতিলাভের স্বাধীনতাই ইহার আছে। কিন্তু বল ভরকেন্দ্রের মধ্য দিয়া কাজ করায়, ইহা শুধু চলনগতিই লাভ করিবে, ঘূর্ণনগতি পাইবে না।



(*a*)

চিত্র ৪০,(*b*)-তে, বলের (*P*-র) দিক ভরকেন্দ্রের (*M*-এর) মধ্য দিয়া নয়। এক্ষেত্রে চলনগতির ফলে বস্তুটির *CD* অবস্থান C_1D_1 অবস্থানে যাইবে (বা ভরকেন্দ্র *M* হইতে M_1-এ সরিবে)। অধিকন্তু বল *P* বস্তুটিকে ভরকেন্দ্রের চারিদিকে ঘূর্ণনের গতিও দিবে। ফলে C_1D_1, *CD*-র সহিত সমান্তরাল হইবে না। *C* হইতে C_1 বেশী দূরে যাইবে, D_1 কিন্তু *D* হইতে ঐ পরিমাণ দূরে যাইবে না। ইহার অর্থ হইল এই যে, বস্তু *CD* কিছুটা ঘূর্ণিত হইবে।

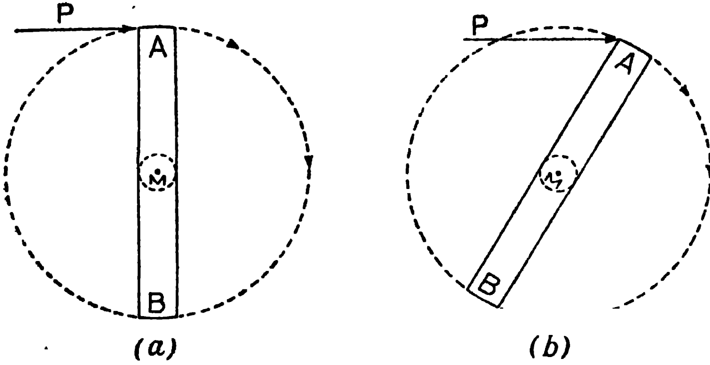


(*b*)

চিত্র ৪

(২) বস্তুটির যদি কেবলমাত্র ঘূর্ণনের স্বাধীনতা থাকে এবং উহার ভরকেন্দ্রের সরিবার উপায় না থাকে, তাহা হইলে ঘুরাইবার জন্য কোন বল এইরূপভাবে প্রয়োগ করিতে হইবে যেন উহার প্রয়োগদিক্ বস্তুটির ভরকেন্দ্র দিয়া না যায়। চিত্র ৪১, (*a*) ও (*b*) তে, একটি আয়তক্ষেত্রাকার পাত (*AB*) দেখান হইয়াছে। ইহার ভরকেন্দ্র (*M*) এমনভাবে আটকান যে, ইহা সমগ্রভাবে চলিতে পারে না, কেবল *M*-এর চারিদিকে ঘুরিতে পারে মাত্র। দুইটি চিত্রেই প্রযুক্ত বল *P*-র দিক ভরকেন্দ্র *M* হইতে দূরে

প্রথম চিত্রে P, AB-র লম্ব দিকে কাজ করিতেছে। দ্বিতীয় চিত্রে P-র দিক্ AB-র উপর লম্ব নয়। উভয় ক্ষেত্রেই AB ঘূর্ণনগতি লাভ করিবে।



চিত্র ৪১

৬৯। কোন বলের মোমেণ্ট (Moment of a force) এবং উহার তাৎপর্য :—

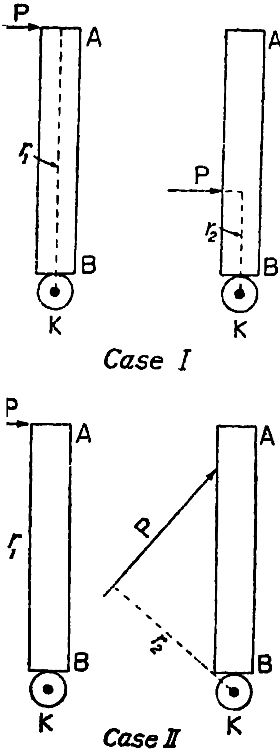
কোন বলের ক্রিয়ায় যদি কোন বস্তু কোন বিন্দু বা অক্ষের চারিদিকে আবর্তিত হয়, তাহা হইলে ঐ বিন্দু বা অক্ষ হইতে বলটির দিকের উপর লম্ব-দূরত্বকে বলের মান দিয়া গুণ করিলে ঐ গুণফলকে উক্ত বিন্দু বা অক্ষের সঙ্গে বলটির মোমেণ্ট (moment) বা বিভ্রমিষা বলে। প্রত্যেক মোমেণ্টের একটি নির্দিষ্ট মান থাকে, এবং ঘূর্ণনদিক্ও থাকে। অর্থাৎ, মোমেণ্ট একটি ভেক্টর। এইরূপ বলের ক্রিয়ায় বস্তুটি ঘড়ির কাঁটার বিপরীত দিকে ঘুরিলে প্রযুক্ত বলের মোমেণ্টকে ধন-মোমেণ্ট বলে। বস্তুটি ঘড়ির কাঁটার দিকে আবর্তিত হইলে (চিত্র ৪১), প্রযুক্ত বলের মোমেণ্টকে ঋণ-মোমেণ্ট বলে।

(ক) মোমেণ্ট-সংক্রান্ত কয়েকটি নীতি—

মনে কর, কোন বস্তুর উপর অনেকগুলি বল যুগপৎ কাজ করিতেছে। কোন নির্দিষ্ট বিন্দু বা অক্ষের চারিদিকে ঐ প্রত্যেকটি বলের মোমেণ্ট বাহির করা হইলে দেখিতে হইবে যে, ঐগুলির মধ্যে কোন্ কোন্ মোমেণ্ট ধন, আর কোন্ কোন্ মোমেণ্ট ঋণ। তারপর এই মোমেণ্টগুলিকে বীজগণিতের সাধারণ নিয়মানুযায়ী যোগ করিলে ফল মোমেণ্ট পাওয়া যাইবে। মনে করা যাক্ যে, একই সমতলে ক্রিয়ারত কতগুলি বলকে সংযোজিত করিয়া একটি লব্ধি বল পাওয়া গেল। তাহা হইলে ঐ সমতলের যে-কোন বিন্দুর জন্য ফল বলটির মোমেণ্ট, প্রযুক্ত সকল বলগুলির স্বতন্ত্র মোমেণ্টসমূহের

যোগফলের সমান হইবে। প্রযুক্ত বলগুলির ক্রিয়ায় যদি বস্তুটি সাম্যের অবস্থায় থাকে, তাহা হইলে উপরোক্ত স্বতন্ত্র মোমেণ্টগুলির যোগফল শূন্য হইবে, কারণ বস্তুটির উপর কোন লব্ধি বল ক্রিয়া করে না। অন্যভাবে বলিতে গেলে—কোন বস্তু বলসাম্য অবস্থায় থাকিলে, ঘড়ির কাঁটার বিপরীতমুখী মোমেণ্টগুলির যোগফল ঘড়ির কাঁটার দিকের মোমেণ্টগুলির যোগফলের সমান হইবে।

(খ) বলের মোমেণ্টের বাস্তব অর্থ বা তাৎপর্য (Physical meaning of moment)—কোন বল ও কোন বিন্দু হইতে ঐ বলের দিকের উপর লম্ব-দূরত্বের গুণফলকে মোমেণ্ট কেন বলা হয়, তাহা এখন আলোচনা করা যাক্।



চিত্র ৪২

চিত্র ৪২ দেখ। মনে কর, AB একটি ভারী দরজা এবং উহা K-তে কব্‌জা দিয়া লাগান। দরজাটি সহজে খুলিতে হইলে বল P-কে কোথায় প্রয়োগ করিবে?

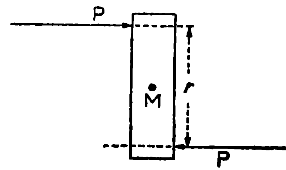
বলটিকে কি কব্‌জা হইতে দূরতম (Case I, বাম দিকের ছবি) বিন্দুতে প্রয়োগ করিবে, না নিকটতর (Case I, ডান দিকের ছবি) কোন বিন্দুতে প্রয়োগ করিবে? অভিজ্ঞতা হইতে তুমি জান যে, দূরতম বিন্দুতে প্রয়োগ করাই শ্রেয়ঃ। ধাক্কাটা কোন্ দিকে দিবে? Case II, বাম দিকের চিত্রে যেরূপ দেখান হইয়াছে ঐভাবে, না কি Case II, ডান দিকের চিত্রে যেভাবে দেখান হইয়াছে সেইভাবে? অভিজ্ঞতা হইতে তুমি জান যে, দরজার লম্ব দিকে ধাক্কা দেওয়াই শ্রেয়ঃ। অর্থাৎ দরজার উপর বলটির ধাক্কায় সর্বাপেক্ষা অধিক ফল তখনই পাওয়া যাইবে, যখন বলটির মোমেণ্ট সর্বাপেক্ষা বেশী হইবে। ইংরাজী ভাষায় মোমেণ্ট শব্দটির অর্থ গুরুত্ব। অতএব, বলটির প্রয়োগের ফল বা গুরুত্ব যাহা দিয়া মাপা যায়, তাহাকেই বলের মোমেণ্ট বলা হয়।

কোন বিন্দু বা খুঁটি হইতে বলের দূরত্ব সমান রাখিয়া বলের মান বাড়াইলে বস্তুর

মোমেণ্ট বাড়ে। আবার, বলের মান সমান রাখিয়া বলের প্রয়োগবিন্দুর দূরত্ব বাড়াইলেও বলের মোমেণ্ট বাড়ে। উল্লিখিত বিন্দু বা খুঁটি হইতে বলের উপর উল্লম্ব দূরত্বকে লিভার বাহু (lever arm) বলে। লিভার বাহুর দৈর্ঘ্য (অর্থাৎ খুঁটি হইতে প্রযুক্ত বলের দিকের উপর উল্লম্বদূরত্ব) বলটির কার্যকারিতা নির্দিষ্ট করে। এইজন্যই বলটির সম্পূর্ণ গুরুত্ব বা কার্যকারিতা বলটির মান ও লিভার বাহুর গুণফল দ্বারা নির্ণীত হয়। এই গুণফলকেই আমরা উপরোক্ত বিন্দুর বা অক্ষের সঙ্গে ঐ বলটির মোমেণ্ট বলি।

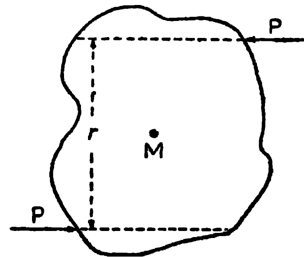
৭০। **কাপ্‌ল** (Couple):—মনে কর, একটি কাঠের গুঁড়ি (M) রাস্তার উপর পড়িয়া আছে (চিত্র ৪৩)।

যদি দুই জন লোক দুই প্রান্তে বিপরীত দিক হইতে সমান বলে গুঁড়িটিকে লম্বভাবে ঠেলে, তাহা হইলে কি ফল হইবে? গুঁড়িটি উহার কেন্দ্রের চারিদিকে ঘুরিবে। সবটুকু গতিই হইবে ঘূর্ণনগতি। ইহা চলনগতি পাইবে না। অতএব এইভাবে গুঁড়িটিকে রাস্তা দিয়া সামনে সরান সম্ভব হইবে না। এইরূপ দুইটি সমান মানের, সমান্তরাল, বিপরীতমুখী বল-কে কাপ্‌ল বলে। কাপ্‌ল বস্তুকে ঘুরায় বা ঘুরাইবার উপক্রম করে। কোন লিভার বাহুর প্রান্তে বল প্রযুক্ত হইলে অন্য প্রান্তে সমান মানের বিপরীত বল সৃষ্ট হয় বলিয়া বস্তুবিশেষ উহার কোন বিন্দু বা অক্ষের চারিদিকে ঘুরে। কাপ্‌লের কার্যকারিতা উহার মোমেণ্ট দ্বারা নির্ণীত হয়।



চিত্র ৪৩

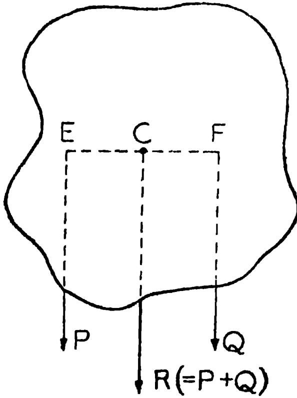
কাপ্‌লের মোমেণ্টকে, বিকল্পে, টর্ক (torque) বলা হয়। মোমেণ্ট হইল কাপ্‌ল সৃষ্টিকারী বল দুইটির যে-কোনটির মান ও বল-দুইটির মধ্যে উল্লম্ব দূরত্বের গুণফল। চিত্র ৪৩ ও ৪৪-এ ইহা দেখান হইয়াছে। ইহাতে P হইল প্রত্যেক বলের মান এবং r হইল বল-দুইটির মধ্যে উল্লম্ব দূরত্ব। অতএব কাপ্‌লটির মোমেণ্ট $= P \times r$। ঘূর্ণনের দিক ঘড়ির কাঁটার বিপরীত দিকে হইলে কাপ্‌লের মোমেণ্ট ধন হইবে, ঘড়ির কাঁটার দিকে হইলে কাপ্‌লের মোমেণ্ট ঋণ হইবে। চিত্র ৪৩-এ মোমেণ্ট ঋণ, চিত্র ৪৪-এ মোমেণ্ট ধন।



চিত্র ৪৪

৭১। সমান্তরাল বল

(ক) সমমুখী সমান্তরাল বল (Like parallel forces)—ইহাদের সর্বদাই একটি লব্ধি থাকিবে। লব্ধি বলের দিক প্রযুক্ত বলগুলির দিকেই হইবে।



চিত্র ৪৫

মনে কর, দুইটি সমমুখী সমান্তরাল বল (P ও Q) একটি দৃঢ় বস্তুর উপর কাজ করিতেছে (চিত্র ৪৫)। EF সরলরেখা বল-দুইটির দিকরেখার উপর একটি সাধারণ লম্ব। কাজেই EF হইল রেখা-দুইটির অন্তবর্তী দূরত্বের মান। লব্ধি বল R, EF-এর মধ্যবর্তী কোন বিন্দুতে (C) কাজ করে বলিয়া প্রমাণ করা যায়। R-এর মান হইবে ($P+Q$)। ইহার দিক হইবে প্রযুক্ত বল P-এর (বা Q-র) সমান্তরাল। C বিন্দু EF রেখাকে এমন দুই ভাগে ভাগ করিবে যে $P\times EC=Q\times FC$ হইবে। অর্থাৎ C, EF-কে ভিতর দিকে (internally) প্রান্তীয় বল-দুইটির বিপরীত অনুপাতে বিভক্ত করিবে। অর্থাৎ, $\frac{Q}{P}=\frac{EC}{FC}$। তাহা হইলে Q, P ও EF জানা থাকিলে, R ও EC বা FC-র মান নির্ণয় করার জন্য নিম্নোক্ত সমীকরণগুলি ব্যবহার করিতে হইবে—

$$P+Q = R \quad \cdots \quad (১)$$

$$\frac{Q}{P} = \frac{EC}{FC} \quad \cdots \quad (২)$$

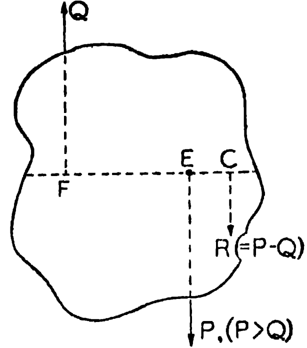
$$EC+FC = FF \quad \cdots \quad (৩)$$

দুইয়ের অধিক সমান্তরাল বলের ক্ষেত্রে উপরোক্ত নিয়ম পর পর প্রয়োগ করিয়া এক চূড়ান্ত লব্ধি বলা পাওয়া যাইবে। অর্থাৎ R-এর সহিত তৃতীয় বলটির লব্ধি R_1, R_1-এর সহিত চতুর্থ বলের লব্ধি এইরূপভাবে অগ্রসর হইলে শেষ পর্যন্ত এক চূড়ান্ত লব্ধি বল পাওয়া যাইবে।

(খ) বিপরীতমুখী সমান্তরাল বল—

এই বল দুইটি সমান মানের হইলে একটি কাপ্‌ল গঠিত হইবে। কাপ্‌ল প্রসঙ্গ পূর্বেই আলোচিত হইয়াছে।

এবার, বল-দুইটি সমান্তরাল এবং অসমান ধরা যাক্। চিত্র ৪৬-এ একটি বস্তুর উপর একটি বল (P) নীচের দিকে ও অপর একটি বল (Q) উপর দিকে কাজ করিতেছে দেখান হইয়াছে। ইহাদের লব্ধি R-এর মান হইবে $P-Q$ (যদি $P>Q$ হয়), অথবা $Q-P$ (যদি $P<Q$ হয়)। লব্ধি বল P ও Q-র সমান্তরাল হইবে এবং বলদ্বয়ের বৃহত্তরটির দিকে কাজ করিবে। লব্ধি বল P ও Q-র উপর সাধারণ লম্ব EF (বর্ধিত)-এর উপর উল্লম্বভাবে C বিন্দুতে কাজ করিবে। C, EF-কে বাহির দিকে (externally) বল P ও Q-র বিপরীত অনুপাতে বিভক্ত করিবে। অর্থাৎ $\frac{Q}{P}=\frac{EC}{FC}$। এখন P, Q ও EF জানা থাকিলে, যে সমীকরণগুলির সাহায্যে R এবং EC বা FC নির্ণয় করা যাইবে, ঐগুলি হইবে—



চিত্র ৪৬

$$(P-Q) = R \quad \cdots \quad \cdots \quad (১)$$

$$\frac{Q}{P} = \frac{EC}{CF} \quad \cdots \quad \cdots \quad (২)$$

$$FC-EC = EF \quad \cdots \quad \cdots \quad (৩)$$

Questions

1. Explain what you understand by a force. How will you combine a number of coplanar forces ? What are the resolved parts of a given force in two mutually perpendicular directions ? What do the resolved parts really mean ?

2. Explain the vector representation of a force.

3. Only two forces are acting on a body. Explain the conditions of equilibrium of the body.

4. Discuss clearly the effect a force acting on a body produces or tends to produce.

5. Define the moment of a force. What is the physical significance of the moment ?

6. How is torque produced? How is a torque measured?
7. Explain how the resultant of two like parallel forces and the resultant of two unlike parallel forces are determined.

৭২। কোন বস্তুর ভরবেগ (Momentum) :—ভরবেগ হইল ভর ও গতিবেগের গুণফল। ভর m ও গতিবেগ v হইলে, ভরবেগ $= mv$। একক ভর একক গতিবেগে চলিতে থাকিলে উহার ভরবেগ হয় একক ভরবেগ। তাহা হইলে, সি. জি. এস্. এবং এফ. পি. এস্. পদ্ধতিতে ভরবেগের একক হইবে যথাক্রমে— 1 গ্রাম-সে.মি., প্রতি সেকেণ্ডে এবং 1 পাউণ্ড-ফুট, প্রতি সেকেণ্ডে। ভরবেগের মান mv, আর দিক্ গতিবেগ vর দিকে। ভরবেগ একটি ভেক্টর।

৭৩। বল ও ভরবেগ :—

কোন স্থির এবং মুক্ত বস্তুর উপর বল প্রযুক্ত হইলে বস্তুটি ত্বরণ লাভ করিয়া গতিশীল হয়। কোন গতিশীল বস্তুর বিরুদ্ধে বল প্রযুক্ত হইলে গতিতে মন্দন দেখা দেয়। প্রথম ক্ষেত্রে গতির উৎপত্তি হয় ও দ্বিতীয় ক্ষেত্রে গতির হ্রাস হয়। এইরূপই হইল কোন প্রযুক্ত বলের ধর্ম। তবেই হইল এই যে, বল এবং বস্তুর গতির হ্রাস বা বৃদ্ধি পরস্পর সম্পর্কিত, অর্থাৎ প্রযুক্ত বল বস্তুর গতির পরিমাণের (quantity of motion) সহিত সম্পর্কান্বিত।

এখন প্রশ্ন হইল এই যে, গতির পরিমাণ কিভাবে পাওয়া যাইতে পারে। একই বল দুইটি বিভিন্ন ভরের বস্তুর উপর প্রযুক্ত হইলে সমান গতিবেগ সৃষ্টি করে না। বস্তুটি হাল্কা হইলে উহা দ্রুত চলে, বস্তুটি ভারী হইলে উহা অপেক্ষাকৃত আস্তে চলে। ইহার অর্থ এই যে, গতির পরিমাণ চলন্ত বস্তুর ভরের সঙ্গেও বিশেষভাবে সম্পর্কান্বিত। দুইটি বিভিন্ন ভরের বস্তু যদি একই গতিবেগে চলে তবে উহাদের থামাইতে গতির বিপরীত দিকে উহাদের উপর বিভিন্ন মানের বল প্রয়োগ করিতে হয়। হাল্কা বস্তুটিকে থামাইতে কম মানের বল লাগিবে, ভারী বস্তুটিকে থামাইতে বেশী মানের বল প্রয়োজন হইবে। তাই দেখা যাইতেছে, একমাত্র গতিবেগই (velocity) গতির পরিমাণ (quantity of motion) সূচিত করে না। গতির পরিমাণ নির্ভর করে ভর ও গতিবেগ এই উভয়ের উপর। রাইফেল দ্বারা নিক্ষিপ্ত গুলির ভর বেশি নয়। কিন্তু ইহার গতিবেগ অত্যধিক বলিয়া ইহার গতির পরিমাণ খুব বেশি। এইজন্যই ইহা থামিবার পূর্বে চর্ম, চর্বি, মাংস, অস্থি, ইত্যাদি ভেদ করিয়া শরীরের মধ্যে ঢুকিয়া পড়িতে পারে। পর্বত হইতে যখন হিমপ্রপাত নামিতে থাকে, তখন ইহার গতিবেগ বেশি থাকে না বটে, কিন্তু

ঐ বিরাটাকার বরফপিণ্ডের ভর অত্যন্ত বেশী বলিয়া উহার গতির পরিমাণ (quantity of motion) প্রচণ্ড হয়। এইসব দৃষ্টান্ত হইতে বুঝিতেছ যে, গতির পরিমাণের সহিত বস্তুর ভর ও উহার গতিবেগ উভয়ই পরস্পর বিশেষভাবে জড়িত। প্রযুক্ত বলের সহিত উৎপন্ন বা অবলুপ্ত গতিবেগের সদানির্দিষ্ট কোন সম্পর্ক নাই, কিন্তু ভর ও গতিবেগের কোন যৌথের সহিত ইহার সম্পর্ক বিদ্যমান। ভর বাড়িলে গতির পরিমাণ আনুপাতিক ভাবে বাড়ে ; গতিবেগ বাড়িলেও গতির পরিমাণ আনুপাতিকভাবে বাড়ে। পদার্থবিজ্ঞানে, তাই, ভর ও গতিবেগের গুণফল দ্বারা গতির পরিমাণ (quantity of motion) ব্যক্ত করা হয়। এই গুণফলের নাম হইল ভরবেগ (momentum)। তাই মনে রাখিবে যে, **বল ও ভরবেগ নির্দিষ্টভাবে সম্পর্কান্বিত।**

৭৪। নিউটনের গতিসূত্রাবলী :—

(১) বাহির হইতে কোন বল প্রযুক্ত না হইলে কোন অচেতন বস্তুর স্থিতির অবস্থার বা সরলরৈখিক পথে উহার স্থির গতিবেগের অবস্থার নিজ হইতে কোন পরিবর্তন ঘটে না।

(২) ভরবেগের পরিবর্তন প্রযুক্ত বলের দিকে হয় এবং ভরবেগের পরিবর্তনের হার প্রযুক্ত বলের আনুপাতিক হয়।

(৩) প্রত্যেক ক্রিয়ারই সমান মানের এক বিপরীতক্রিয়া (বা প্রতিক্রিয়া) আছে।

প্রথম সূত্র-দুইটি গ্যালিলিও ষোড়শ শতাব্দীর শেষের দিকে আবিষ্কার করিয়াছিলেন। তৃতীয় সূত্রটি নিউটনের সমসাময়িক বিজ্ঞানী হুক্ (Hooke), হেগেনস্ (Huygens) এবং রেণ (Wren)-এরও জানা ছিল। কিন্তু নিউটনই সর্বপ্রথম (১৬৮৬ খৃষ্টাব্দে) তাঁহার অমর গ্রন্থ প্রিন্সিপিয়াতে (*Principia*) ঐ সূত্রগুলিকে সুস্পষ্টভাবে উপস্থিত করেন। তাই পরবর্তী কাল হইতে ইহারা নিউটনের গতিসূত্র বলিয়া পরিচিত হইয়া আসিতেছে। এই সূত্র-তিনটি নিউটনীয় বলবিদ্যার মূল ভিত্তি।

৭৫। নিউটনীয় গতিসূত্রাবলীর ব্যাখ্যা :—

প্রথম গতিসূত্র—(ক) এই সূত্র হইতে আমরা জড় পদার্থের একটি প্রধান ধর্ম বুঝিতে পারি। জড় পদার্থের নিজস্ব কোন উদ্যোগ (initiative) নাই। ফলে, থামিয়া থাকিলে ইহা সর্বদাই থামিয়া থাকিবে, সরলরেখাপথে স্থিরগতিসম্পন্ন হইলে সেই গতি লইয়াই উহা চলিতে থাকিবে। এই প্রকার ধর্মকে জড়তা (inertia) বলা হয়। বাংলাভাষায় জড়তা বলিতে স্থিতিশীলতাকে বুঝায়। স্থির বস্তুর স্থির থাকিবার ধর্মই জড়তা। ইহাকে

স্থিতিপ্রবণতা (inertia of rest) আখ্যা দেওয়া যাইতে পারে। আবার কোন বস্তুর সরলরৈখিক স্থিরগতি বদলাইবার কোন নিজস্ব উদ্যোগ না থাকাও এক ধরণের জড়তা (inertia)। ইহাকে স্থিরগতিপ্রবণতা (inertia of motion) আখ্যা দেওয়া যাইতে পারে। তাই অনেক সময় এই প্রথম সূত্রকে জড়তার (inertia) সূত্র বলা হয়।

রেলগাড়ীর মধ্যে একজন লোক দাঁড়াইয়া আছে। গাড়ী অকস্মাৎ চলিতে শুরু করিলে লোকটির পিছনের দিকে উল্টাইয়া পড়িয়া যাওয়ার সম্ভাবনা। কারণ, পা-দুইটি গাড়ীর সহিত যুক্ত থাকায় সহজেই গাড়ীর গতি লাভ করে। কিন্তু শরীরের বাকী অংশ স্থিতিপ্রবণতার জন্য পূর্বের অবস্থাতেই থাকিতে চায়। ফলে লোকটির উল্টাইয়া পড়িবার সম্ভাবনা থাকে। বাস হইতে অসতর্কভাবে নামিতে গেলে কোন লোকের সামনের দিকে উপুর হইয়া পড়ার সম্ভাবনা থাকে। কারণ, পা-দুইটি মাটির সংস্পর্শে আসিয়া সহজেই থামে; কিন্তু, শরীরের বাকী অংশ গতিপ্রবণতার জন্য বাসের গতি লইয়া সম্মুখ দিকে চলিতে থাকে। ফলে তাহার উপুড় হইয়া পড়ার সম্ভাবনা ঘটে। চলন্ত বাস হইতে নামিতে গেলে হয় কিছুক্ষণ সামনে দৌড়াইয়া পা-দুটির স্থির হওয়াকে বিলম্বিত করিতে হইবে, আর নয়ত শরীর পিছনে হেলাইয়া নামিতে হইবে। শেষোক্ত ক্ষেত্রে গতিপ্রবণতা বড় জোর শরীরকে সোজা করিয়া দিবে, সামনে হেলাইয়া ফেলিতে পারিবে না।

(খ) বলের ক্রিয়ার প্রকৃতিও প্রথম গতিসূত্র হইতে জানিতে পারা যায়। বল স্থির বস্তুতে প্রযুক্ত হইলে উহাকে গতি দেয় বা গতি দিবার উপক্রম করে। বল সরলরেখাপথে স্থিরগতিবেগে চলমান বস্তুতে প্রযুক্ত হইলে ঐ গতিবেগকে ত্বরান্বিত বা মন্দিত করে, অথবা ত্বরান্বিত বা মন্দিত করিবার উপক্রম করে। তাই বলা যায় যে বলের ক্রিয়ার প্রকৃতি প্রথম গতিসূত্র হইতে জানা যায়।

দ্বিতীয় গতিসূত্র—বলের মান কিরূপে নির্ণয় করা যায় তাহা এই সূত্রে আছে। অর্থাৎ, এই সূত্র অবলম্বন করিয়া বলের মান নির্ণয় করা যায়। প্রযুক্ত বল ভরবেগে পরিবর্তন আনে। বল হইল কারণ, আর ভরবেগের পরিবর্তন হইল কার্য। সাধারণতঃ কার্য দ্বারাই কারণকে মাপিতে হয়। কারণের পরিমাণ কার্যের পরিমাণ সহিত নির্দিষ্ট সম্পর্কযুক্ত হইবে। সূত্রটি হইল, বস্তুর ভরবেগের পরিবর্তনের হার প্রযুক্ত বলের আনুপাতিক হয়। অর্থাৎ, ১ সেকেণ্ডে ভরবেগের যে পরিবর্তন হয় তাহা দিয়া প্রযুক্ত বলকে ভাগ করিলে একটি ধ্রুব রাশি পাওয়া যাইবে (বল ÷ এক সেকেণ্ডে ভরবেগের পরিবর্তন = ধ্রুবক)। ইহার অর্থ এই যে, বল যদি দ্বিগুণ হয় তাহা হইলে প্রতি সেকেণ্ডে ভরবেগের পরিবর্তনও দ্বিগুণ হইবে, ইত্যাদি, ইত্যাদি।

ভরবেগের পরিবর্তন কোন্ দিকে ঘটিবে (ভরবেগ একটি ভেক্টর)? দ্বিতীয় সূত্র হইতে জানা যায় যে, এই পরিবর্তন প্রযুক্ত বলের দিকেই ঘটিবে।

তৃতীয় গতিসূত্র—সকল ক্রিয়ারই একটি সমান প্রতিক্রিয়া আছে। এখানে ক্রিয়া বলিতে ক্রিয়ার বল বুঝাইলে প্রতিক্রিয়ার অর্থেও প্রতিক্রিয়ার বল বুঝাইবে। কোন বল একা থাকিতে পারে না। একটি বল সর্বদাই সমমানের বিপরীতমুখী একটি বলের সহিত সহ-বর্তমান (co-existent) থাকিবে। কোন দুইটি বস্তুর মধ্যে ক্রিয়াশীল বলগুলি সর্বদাই পারস্পরিক। একটি দ্বিতীয়টির উপর ক্রিয়া করিলে দ্বিতীয়টিও প্রথমটির উপর বিপরীত দিকে ক্রিয়া করিবে। একখানি বই কোন টেবিলের উপর রাখা হইলে বইয়ের ভার টেবিলের উপর ক্রিয়া করে। আবার টেবিলটিও বইখানির উপর সমান মানের একটি বিররীত বল প্রয়োগ করে। ইহাদের বলসাম্যে বইখানি স্থির থাকে। মনে রাখিও যে, ক্রিয়া ও প্রতিক্রিয়া দুইটি বিভিন্ন বস্তুর উপর বা একই বস্তুর দুইটি বিভিন্ন অংশের উপর কাজ করে।

ক্রিয়া ও প্রতিক্রিয়া সমান ও বিপরীত হইলে, পৃথিবী একটি আপেল ফলের দিকে না গিয়া আপেল ফলটি পৃথিবী পৃষ্ঠে নামিয়া আসে কেন?

ইহাদের আকর্ষণ পারস্পরিক বলিয়া ফলটি পৃথিবীকে যে বলে আকর্ষণ করে, পৃথিবীও ফলটিকে ঐ সমান বলে আকর্ষণ করে। ফলটির আকর্ষণ বল পৃথিবীর উপর প্রযুক্ত হয়, কিন্তু পৃথিবীর ভর খুব বেশি বলিয়া পৃথিবী নড়ে না বলিলেই চলে। পৃথিবীর আকর্ষণ বল ফলটির উপর কাজ করে। ফলটির ভর কম বলিয়া উহা অধিক গতি লাভ করে ও পৃথিবীপৃষ্ঠে নামিয়া আসে।

৫৬। বলের পরিমাপ :—

পূর্বেই বলা হইয়াছে যে, দ্বিতীয় গতিসূত্রের সাহায্যে বলের পরিমাপ করা যায়। সংক্ষেপতঃ সূত্রটি এই—কোন বস্তুর ভরবেগের পরিবর্তনের হার প্রযুক্ত বলের আনুপাতিক হয়। মনে কর m ভরের একটি বস্তুর কোন মুহূর্তে গতিবেগ হইল u। ঐ সময় গতির দিকে P মানের একটি স্থির বল বস্তুটির উপর প্রযুক্ত হইল।

তাহা হইলে দ্বিতীয় সূত্র অনুযায়ী,

$P \propto$ বস্তুটির ভরবেগের পরিবর্তনের হার,

$\propto (mu)$র পরিবর্তনের হার,

$\propto (m) \times$ (গতিবেগের পরিবর্তনের হার), m বদলায় না বলিয়া,

$\propto m \times f$, ইহাতে f হইল গতিবেগের পরিবর্তনের হার বা ত্বরণ।

P স্থির বলিয়া f ও স্থির হইবে। ভরবেগের পরিবর্তনের হার, দ্বিতীয় সূত্র অনুযায়ী, P-র দিকে হইবে। অর্থাৎ f-এর দিক্ P-র দিকেই হইবে। এখন লেখা যায়, $P = kmf$। ইহাতে k একটি ধ্রুবক।

বলের একক এমনভাবে নেওয়া যায় যে, অনুপাতধ্রুবক k, 1-এর সমান হয়। যদি বলা হয় যে, একক বল এমন বল যে উহা একক ভরে একক ত্বরণের সৃষ্টি করে, তাহা হইলে, $P=1$ এবং $m=1$ হইলে $f=1$ হইবে।

$$\text{অর্থাৎ, } k = \frac{P}{mf} = \frac{1}{1 \times 1} = 1.$$

বলের এককের এইরূপ সংজ্ঞা দিলে, স্পষ্টতঃই আমরা বলিতে পারি,

$$P = mf \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (১)$$

অর্থাৎ, **বল = ভর × ত্বরণ।**

৭৭। বলের একক :—

একক বল একক ভরের উপর ক্রিয়া করিলে একক ত্বরণ সৃষ্টি করে। একক বলের এই সংজ্ঞা অনুযায়ীই $P = mf$। ভর যদি এক গ্রাম হয় ও ত্বরণ যদি প্রতি বর্গ-সেকেণ্ডে এক সেন্টিমিটার হয়, তাহা হইলে বলের একককে এক ডাইন (dyne) বলা হয়। আর ভর এক পাউণ্ড ও ত্বরণ প্রতি বর্গ-সেকেণ্ডে এক ফুট হইলে, বলের একককে এক পাউণ্ড্যাল্ (poundal) বলা হয়।

সি. জি. এস্. পদ্ধতি অনুযায়ী বলের পরম একক হইল ডাইন (dyne)—এক ডাইন বল এক গ্রাম ভরের উপর ক্রিয়া করিলে এক সেন্টি-মিটার, প্রতি বর্গ-সেকেণ্ডে ত্বরণ সৃষ্টি করে।

এফ্. পি. এস্. পদ্ধতি অনুযায়ী বলের পরম একক হইল পাউণ্ড্যাল্ (poundal)—এক পাউণ্ড্যাল্ বল এক পাউণ্ড ভরের উপর ক্রিয়া করিলে এক ফুট, প্রতি বর্গ-সেকেণ্ডে, ত্বরণ সৃষ্টি করে।

মনে রাখিও যে এক মেগাডাইন (megadyne) = দশ লক্ষ ডাইন = 10^6 ডাইন।

দ্রষ্টব্য : 'মহাকর্ষ একক' (gravitational unit) নামে বলের আর-একটি গুরুত্বপূর্ণ একক আছে।

৭৮। পাউণ্ড্যাল্ ও ডাইনের সম্পর্ক :—

1 পাউণ্ড = 453·6 গ্রাম এবং 1 ফুট = 30·48 সেন্টিমিটার। পাউণ্ড্যাল্ অনেক বেশি ভরে অনেক বেশি ত্বরণ সৃষ্টি করিতে পারে বলিয়া উহা ডাইন হইতে অনেক বড়। 1

পাউণ্ডাল্ 1 পাউণ্ড ভরে 1 ফুট, প্রতি বর্গ-সেকেণ্ডে, ত্বরণ সৃষ্টি করিতে পারে অর্থাৎ 453·6 গ্রাম ভরে 30·48 সেন্টিমিটার, প্রতি বর্গ-সেকেণ্ডে, ত্বরণ সৃষ্টি করিতে পারে। যে বল 1 বল গ্রাম ভরে 1 সে.মি., প্রতিবর্গ সেকেণ্ডে, ত্বরণ সৃষ্টি করিতে পারে তাহার মান 1 ডাইন বলিয়া,

পাউণ্ড্যাল্ $= m \times f = 453{\cdot}6 \times 30{\cdot}48$ ডাইন $= 13{,}825$ ডাইন (প্রায়)।

৭৯। টান্, ধাক্কা, টেনসন ও ধাক্কার বল (pull, push, tension and thrust) :—

ইহাদের প্রত্যেকটিই একটি বল। বল এক এক ভাবে প্রযুক্ত হইলে উহার নাম এক এক রূপে দেওয়া হয়।

দৃঢ় (rigid) বা নমনীয় (flexible) কোন বস্তুর দৈর্ঘ্য বরাবর বল প্রয়োগ করা হইলে প্রযুক্ত বলকে **টান্** বলে। রড, দড়ি, শিকল বা তারে (string) টান প্রয়োগ করা যায়।

তার, দড়ি বা শিকলে টান্ দেওয়া হইলে ঐ বস্তুগুলি **টেন্‌সন্** বা পীড়নের (stress) অবস্থা প্রাপ্ত হয়। সাধারণতঃ টেন্‌সন্ বলিতে যে-কোন টান্‌কে বুঝা যায়।

কোন একটি বস্তুর মারফত অন্য কোন পদার্থের উপর একটি ধাক্কার বল প্রয়োগ করিতে হইলে, ঐ মারফতী বস্তুটিকে দৃঢ় হইতে হইবে। নমনীয় (flexible) পদার্থের সাহায্যে, যথা শিকল বা দড়ির সাহায্যে, ধাক্কা দেওয়া যায় না।

একটি নির্দিষ্ট ক্ষেত্রফলের উপর **ধাক্কার বল** (thrust) কাজ করে। নরম জায়গায় বাড়ীর ভিত্ বসাইবার পূর্বে কাঠ বা লোহার থাম মাটিতে পুঁতিয়া দেওয়া হয়। ইহাকে ইংরাজীতে পাইল ড্রাইভিং (pile driving) বলা হয়। থাম পুঁতিবার জন্য একটি ভারী লোহখণ্ড উপরে উঠাইয়া থামের মাথার উপর ফেলা হয়। ফলে, থামটির উপর ধাক্কার বল প্রযুক্ত হওয়ায় থামটি প্রোথিত হয়। একখণ্ড কর্ককে জলের মধ্যে ডুবাইয়া ধরিলে জলের ঊর্ধ্বমুখী ধাক্কার বল কর্কটির উপর কাজ করে।

৮০। বলমাত্রই অন্য বল নিরপেক্ষ (Physical Independence of forces) :—

কোন বস্তুর উপর কোন বল প্রযুক্ত হইলে ভরবেগের পরিবর্তন প্রযুক্ত বলের দিকে হইয়া থাকে এবং উহা বলের মানের সহিত আনুপাতিক হয় (নিউটনের দ্বিতীয় গতিসূত্র)। কিন্তু যদি বিভিন্নমুখী অনেকগুলি বল একই সময়ে একটি বস্তুর উপর ক্রিয়া করে, তাহা হইলে বস্তুটির গতি বা ভরবেগের পরিবর্তন কোন্ দিকে হইবে ? 'বল মাত্রই অন্য বল নিরপেক্ষ' এই নীতির সাহায্যে, এই সমস্যার সমাধান করা যায়। এই নীতির অর্থ

এই যে, প্রতিটি বল আপন আপন ভাবেই কার্য করিবে। ইহাদের প্রত্যেকের কার্য-কারিতাকে ভিন্ন ভিন্ন ভেক্‌টর দ্বারা সূচিত করিয়া সংযোজিত লব্ধি ভেক্‌টর নির্ধারণ করা হইলে, ঐ লব্ধি ভেক্‌টরই হইবে বস্তুটির উপর প্রযুক্ত বিভিন্ন বলের চূড়ান্ত কার্যকারিতা।

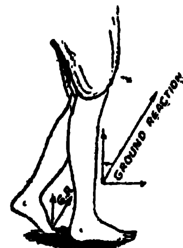
৮১। ক্রিয়ার বল ও প্রতিক্রিয়ার বলের দৃষ্টান্ত ঃ—



চিত্র ৪৭

(১) হেলানো লগি দিয়া জলের তলার মাটিতে চাপ দিয়া মাঝি নৌকা চালায় (চিত্র ৪৭)। এখানে দৃঢ় লগিটি মাটির উপর হেলানো দিকে যে বল প্রয়োগ করে তাহাই ক্রিয়া বা ক্রিয়ার বল। মাটি সমান মানের এক প্রতিবল লগি ও মাঝির শরীরের মাধ্যমে নৌকার উপর প্রয়োগ করে। ইহাই প্রতিক্রিয়া বা প্রতিক্রিয়ার বল। এই প্রতিক্রিয়া বলের অনুভূমিক দিকে বিযোজিত অংশ (**horizontal component**) নৌকাটিকে সামনের দিকে চালায়। লক্ষ্য কর যে, এখানে বলের ক্রিয়া মাটির উপর এবং প্রতিক্রিয়ার বল নৌকার উপর কাজ করিতেছে—অর্থাৎ বল-দুইটির ক্রিয়া হইতেছে বিভিন্ন বস্তুর উপর।

(২) হাঁটিবার সময় কোন লোকের পা মাটির উপর হেলানো দিকে চাপ দেয় বা বল প্রয়োগ করে (চিত্র ৪৮)। ইহা হইতেছে ক্রিয়া। ক্রিয়ার বল মাটির উপর কাজ করে। মাটি সমান মানের এক প্রতিবল সৃষ্টি করে। এই প্রতিক্রিয়া বল পায়ের মাধ্যমে শরীরের উপর কাজ করে। অনুভূমিক দিকে ইহার বিযোজিত অংশ লোকটিকে সামনের দিকে চালায়।



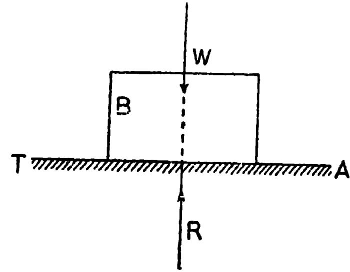
চিত্র ৪৮

পিচ্ছিল পথে চলা শক্ত কেন? পথ পিচ্ছিল হইলে পথের মাটির উপর যথেষ্ট চাপ দেওয়া পায়ের পক্ষে সম্ভব হয় না। ফলে মাটির প্রতিক্রিয়ার বল এবং অনুভূমিক দিকে

উহার বিযোজিত অংশও কম হয়। এইজন্যই ঐরূপ পথে চলা শক্ত। মার্বেলের তৈয়ারী মেঝেতে অর্থাৎ মসৃণ মেঝেতে হাঁটিতে গেলেও ঐ একই সমস্যা।

ক্রিয়ার বল ভূমির দিকে যতই হেলিবে, প্রতিক্রিয়া বলের অনুভূমিক দিকে বিযোজিত অংশের মানও ততই বাড়িবে। এইজন্য দৌড় দিবার সময়ে প্রতিযোগীরা সামনের দিকে ঝুঁকিয়া দৌড় শুরু করে। এইভাবে তাহারা সম্মুখে অগ্রসর হইবার সাহায্যকারী বল (মাটির প্রতিক্রিয়া বলের অনুভূমিক বিযোজিত অংশ) বাড়াইয়া লয়।

(৩) একখানি বই টেবিলের উপর রাখা হইলে উহা সাম্যাবস্থায় স্থির থাকে। চিত্র ৪৯-এ B একখানি বই। উহা টেবিল TA-র উপর আছে। এখানে ক্রিয়ার বল হইল বইয়ের ভার W। ইহা খাড়াভাবে নীচের দিকে কাজ করিতেছে। দৃঢ় টেবিলটিও সমান মানের এক প্রতিবল (R) সৃষ্টি করে। R খাড়াভাবে, উপর দিকে, W-র সহিত একই রেখায় কাজ করিবে। অন্য আর-কোন বলের ক্রিয়া না থাকায় W ও R সর্বদাই পরস্পরের সহিত সাম্য রক্ষা করিবে। অর্থাৎ টেবিলের উপর বইটি স্থিরভাবে থাকিবে।



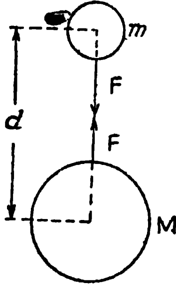
চিত্র ৪৯

মহাকর্ষ

৮৪। নিউটনের মহাকর্ষ সূত্র :—

বিশ্বের যে-কোন দুইটি বস্তু সর্বদা পরস্পরকে এক আকর্ষণ বলে টানে। এই আকর্ষণ বল কেবলমাত্র বস্তু-দুইটির ভর ও দূরত্বের উপর নির্ভর করে, অন্য আর কিছুর উপরই নির্ভর করে না, বস্তু দুইটির আকৃতি বা প্রকৃতির উপরও নয়। এই আকর্ষণ বল উভয় বস্তুর উপরই কাজ করে, এবং বলের দিক হইল ভর-দুইটির ভারকেন্দ্র-সংযোজক সরলরেখা বরাবর। এইরূপ বলকে মহাকর্ষ বল বলে। মহাকর্ষের ধারণাকে স্যার

আইজাক্ নিউটনই প্রথম সূত্রবদ্ধ করেন। এইজন্য ইহাকে নিউটনের মহাকর্ষ সূত্র বলা হয়। কখনও কখনও ইহাকে মহাকর্ষের বিশ্বসূত্রও বলা হয়। সূত্রটি হইল, "বিশ্বের যে-কোন দুইটি বস্তু সর্বদা পরস্পরকে উহাদের ভারকেন্দ্র-সংযোজক সরলরেখা বরাবর এক বলে আকর্ষণ করে। এই আকর্ষণ বল বস্তু-দুইটির ভরের গুণফলের আনুপাতিক এবং উহাদের আন্তঃ-দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক।"



চিত্র ৫০

মনে কর, m ও M হইল দুইটি ভর এবং ইহারা পরস্পর হইতে d দূরত্বে আছে। ইহাদের মধ্যে মহাকর্ষজনিত পারস্পরিক আকর্ষণ-বল F (চিত্র ৫০) হইলে,

$$F \propto (m \times M)\ ;\ \text{আবার, } F \propto \frac{1}{d^2}\ ।$$

$$\text{সুতরাং, } F \propto \frac{m \times M}{d^2}\ ;\ \text{বা, } F = G\frac{m \times M}{d^2} \quad \cdots \quad \cdots \quad (১)$$

এই ধ্রুবক G-কে মহাকর্ষের বিশ্বধ্রুবক (universal gravitational constant) বলা হয়। $m=1$, $M=1$, এবং $d=1$ হইলে, $G=F$। অর্থাৎ, দুইটি একক ভরকে একক দূরত্বে রাখিলে উহাদের পারস্পরিক মহাকর্ষ বলের মান মহাকর্ষ ধ্রুবকের (G) সমান হইবে। সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে $G=6{\cdot}67 \times 10^{-8}$ সি. জি. এস্. একক। অর্থাৎ দুইটি এক গ্রাম ভরবিশিষ্ট বস্তু এক সেন্টিমিটার দূরত্বে থাকিলে উহাদের প্রত্যেকটিই অপরটিকে $6{\cdot}67 \times 10^{-8}$ ডাইন বলে আকর্ষণ করিবে।

৮৩। মহাকর্ষ ও অভিকর্ষ :—

পৃথিবী ও উহার নিকটবর্তী বস্তুগুলির পারস্পরিক আকর্ষণও মহাকর্ষ সন্দেহ নাই, কিন্তু এই বিশেষ ক্ষেত্রে মহাকর্ষকে অভিকর্ষ বলা হয়। মহাকর্ষ-শব্দটিকে সাধারণতঃ নানা গ্রহ, উপগ্রহ, জ্যোতিষ্ক ইত্যাদির পারস্পরিক আকর্ষণ বুঝাইবার জন্য ব্যবহার করা হয়।

পৃথিবীপৃষ্ঠের বহিঃস্থ কোন বিন্দুতে অভিকর্ষের ফল বাহির করিতে হইলে আংকিক হিসাবের জন্য পৃথিবীর সমগ্র ভরকে পৃথিবীর কেন্দ্রে সংহত ধরা যাইতে পারে। মনে কর, পৃথিবী R ব্যাসার্ধের একটি গোলক ও M উহার ভর। তাহা হইলে, পৃথিবীপৃষ্ঠে অবস্থিত m ভরের একটি বস্তুর উপর অভিকর্ষের বল হইবে,

$$F_R = G \times \frac{Mm}{R^2} \quad \cdots\cdots(১)$$

একই বস্তু পৃথিবীপৃষ্ঠ হইতে h উচ্চে অবস্থিত থাকিলে উহার উপর অভিকর্ষের

বল হইবে,

$$F_{(R+h)} = G \times \frac{Mm}{(R+h)^2}$$

পৃথিবী একেবারে গোলাকার নয়। ইহার বিষুবব্যাস মেরুব্যাস অপেক্ষা বড়। ফলে অক্ষাংশ যত বাড়িতে থাকে, ব্যাসার্ধ R তত কমিতে থাকে। অতএব সমীকরণ (১) হইতে বোঝা যায় যে, একই ভরের বস্তুকে বিষুবরেখায় অবস্থিত কোন স্থান হইতে যে-কোন মেরুর দিকে লইয়া গেলে ইহার উপর অভিকর্ষের বল (বস্তুটির ভার বা ওজন). ক্রমেই বাড়িবে। আবার, সমীকরণ (২) হইতে বোঝা যায় যে, বস্তুটি পৃথিবীপৃষ্ঠ হইতে যত উচ্চে উঠিবে, ইহার উপর অভিকর্ষের বল (বস্তুটির ভার বা ওজন) তত কমিবে।

পৃথিবীপৃষ্ঠ হইতে কোন বস্তু পৃথিবীর কেন্দ্রের দিকে গেলে উহার উপর অভিকর্ষ বল কিভাবে পরিবর্তিত হইবে? যদি বস্তুটি পৃথিবীর অভ্যন্তরে কোন স্থানে অবস্থিত হয়, তাহা হইলে প্রমাণ করা যায় যে, ঐ স্থানের বাহিরে পৃথিবীর যে বলয় আছে, বস্তুটির উপর সেই অংশের সামগ্রিক আকর্ষণ বল=0। অভ্যন্তরস্থ অংশটুকুই মাত্র বস্তুটির উপর অভিকর্ষ বল প্রয়োগ করে।

[পৃথিবীর ব্যাসার্ধ R ধরা হইলে, উহার আয়তন $=\frac{4}{3}\pi R^3$। অতএব পৃথিবীর গড় ঘনত্ব D হইলে, পৃথিবীর ভর $M=\frac{4}{3}\pi R^3 D$।

তাহা হইলে, $F = G \times \left(\frac{\frac{4}{3}\pi R^3 D}{R^2}\right) \times m$, সমীকরণ (১) হইতে,

$$= (G \times \tfrac{4}{3}\pi D \times m)R\text{।}$$

দেখা যাইতেছে যে, G, D ও m স্থির ধরা হইলে, $F \propto R$ হইবে। পৃথিবীর অভ্যন্তরে m ভরের কোন বস্তু থাকিলে, পৃথিবীর যে অংশ অভিকর্ষ বল প্রয়োগ করিবে উহার ব্যাসার্ধ কম বলিয়া অভিকর্ষ বলও কম হইবে। যতই অভ্যন্তরে যাওয়া যাইবে বস্তুটির উপর অভিকর্ষ বল বা বস্তুটির ভার ততই কমিতে থাকিবে। $R=0$ হইলে, $F=0$ হইবে। অর্থাৎ পৃথিবীর কেন্দ্রে অভিকর্ষ বলের কোন অস্তিত্ব নাই। সেখানে সকল বস্তুরই ভার শূন্য হইবে।

এই আলোচনা হইতে ইহা বোঝা যায় যে, একই ভরের বস্তুর ভার বিভিন্ন স্থানে বিভিন্ন হইবে।

৮৪। অভিকর্ষজাত ত্বরণ বা অভিকর্ষীয় ত্বরণ :—

পৃথিবীপৃষ্ঠ হইতে কোন বস্তু যখন উপরে উঠে বা নীচে নামে, পৃথিবীর কেন্দ্র হইতে বস্তুটির দূরত্ব তখন বদলায়। ফলে অভিকর্ষ বলও বদলাইবে। কিন্তু বস্তুটি যতটা উঁচুতে উঠিবে বা নীচে নামিবে তাহা পৃথিবীর ব্যাসার্ধের তুলনায় খুব কম হইলে বস্তুটির উপর অভিকর্ষের বল মোটামুটি সমানই থাকিবে বলিয়া মনে

করা যায়। নিউটনের দ্বিতীয় গতিসূত্র অনুযায়ী এই বল যে-কোন মুক্ত বস্তুখণ্ডের উপর খাড়া দিকে পৃথিবীর কেন্দ্রাভিমুখী এক ত্বরণ সৃষ্টি করিবে। ইহাই অভিকর্ষীয় ত্বরণ g। তাহা হইলে, অনুচ্ছেদ ৭৬-র সংকেত সমীকরণ (১) অনুযায়ী,

$$g = \text{অভিকর্ষজাত ত্বরণ} = \frac{\text{বস্তুর উপর অভিকর্ষ বল}}{\text{বস্তুর ভর}} = \frac{F}{m} = \frac{GMm}{mR^2} = \frac{GM}{R^2}।$$

এই সমীকরণ হইতে লক্ষ্য করিবার বিষয় এই যে, অভিকর্ষীয় ত্বরণ পড়তি বা উঠতি বস্তুর ভরের উপর নির্ভর করে না। ভর যাহাই হউক না কেন প্রত্যেক বস্তুর ক্ষেত্রেই অভিকর্ষীয় ত্বরণ সমান। এই তথ্যই নিউটনের গিনি ও পালকের পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণিত হয়। g-র মান নির্ভর করে বিশ্ব মহাকর্ষ ধ্রুবক G, পৃথিবীর ভর M ও পৃথিবীর কেন্দ্রের দূরত্ব R-এর উপর। M ও R বদলাইলে g বদলাইবে। পৃথিবীপৃষ্ঠের এক স্থান হইতে অন্য স্থানে গেলে বা পৃথিবীপৃষ্ঠ হইতে উপরে উঠিলে M বদলায় না। অতএব, $g \propto (1/R^2)$। অর্থাৎ পৃথিবীপৃষ্ঠ হইতে দূরত্ব বাড়িলে g কমিবে, দূরত্ব কমিলে g বাড়িবে। পৃথিবীর অভ্যন্তরে গেলে অভিকর্ষ বল পৃথিবীকেন্দ্রের দূরত্বের আনুপাতিক হইবে (অনুচ্ছেদ ৮৩), অর্থাৎ এই ক্ষেত্রে $g \propto R$ হইবে। পৃথিবীর কেন্দ্রের দিকে যত অগ্রসর হওয়া যায়, g-র মান তত কমে। পৃথিবীর কেন্দ্রে $g=0$। পৃথিবীপৃষ্ঠে g-র গড় মান=981 সেন্টিমিটার, প্রতি বর্গ-সেকেণ্ডে, বা, 32 ফুট, প্রতি বর্গ সেকেণ্ডে।

৮৫। পৃথিবীপৃষ্ঠে বিভিন্ন অক্ষাংশে 'g'-র মান

স্থান	অক্ষাংশ	g-র মান (ফুট, প্রতিবর্গ-সেকেণ্ডে)	g-র মান (সেন্টিমিটার, প্রতি বর্গ-সেকেণ্ডে)
বিষুবরেখা	0° 0′	32·09	978·10
মাদ্রাজ	13° 4′	32·10	978·36
বোম্বাই	18° 52′	32·12	978·63
কলিকাতা	22° 32′	32·13	978·76
নিউইয়র্ক	40° 43′	32·16	980·19
প্যারী	48° 50′	32·18	980·94
লণ্ডন	51° 29′	32·19	981·17
সুমেরু বা কুমেরু	90° 0′	32·25	983·11

৮৬। বস্তুর ভার—ভর ও ভারের পার্থক্য :—

বস্তুর ভার—বস্তুর ভার ইহার কোন আভ্যন্তরীণ সহজাত গুণ নহে। ভার মহাকর্ষজনিত একটি বল। পৃথিবীপৃষ্ঠে বা সন্নিকটে কোন বস্তুর উপর পৃথিবীর কেন্দ্রমুখী যে অভিকর্ষ বল কাজ করে, উহাকেই বস্তুটির ভার বলা হয়। কোন বস্তুর ভর m ও স্থানীয় অভিকর্ষজাত ত্বরণ (acceleration due to gravity) g হইলে বস্তুটির ভার $w = m \times g$ হইবে। ইহা সহজেই বোঝা যায় যে, g-র মান বিভিন্ন স্থানে বিভিন্ন বলিয়া বস্তুর ভারও বিভিন্ন স্থানে বিভিন্ন হইবে। কোন স্থানে যদি g-এর মান 981 সেন্টিমিটার, প্রতি বর্গ-সেকেণ্ডে, হয়, তাহা হইলে ঐ স্থানে 5 গ্রাম ভরের একটি বস্তুর ভার $= 5 \times 981 = 4905$ ডাইন। কোন স্থানে g-র মান 32 ফুট, প্রতি বর্গ-সেকেণ্ডে, হইলে, ঐ স্থানে 5 পাউণ্ড ভরের একটি বস্তুর ভার $= 5 \times 32 = 160$ পাউণ্ড্যাল্।

সাধারণভাবে বস্তুর ভার বলিতে আমরা যাহা বুঝি, সঠিকভাবে বলিতে গেলে, উহা হইল ঐ বস্তুর পার্থিব ভার (terrestrial weight)। একই ভরের বস্তুকে পৃথিবীপৃষ্ঠ হইতে সূর্যের নিকট লইয়া গেলে উহার সৌর ভার পার্থিব ভারের 27 গুণ হইবে। আবার, বস্তুটিকে চন্দ্রে লইয়া গেলে উহার চান্দ্র ভার পার্থিব ভারের $\frac{1}{6}$ হইবে। বস্তুটির ভর সকল ক্ষেত্রেই সমান, কিন্তু, মহাকর্ষজনিত ত্বরণ সূর্যের ও চন্দ্রের বেলায় পৃথিবীর অভিকর্ষ ত্বরণের তুলনায় যথাক্রমে 27 গুণ এবং $\frac{1}{6}$ গুণ বলিয়া বস্তুটির ভারের এইরূপ পরিবর্তন হয়।

বস্তুর ভর—কোন বস্তুর পদার্থের পরিমাণকে ঐ বস্তুর ভর বলা হয়। বস্তুর ভর নিত্য। বস্তুর ভর গতি, স্থিতি, আকার বা উষ্ণতার জন্য পরিবর্তিত হয় না। চুম্বকত্ব লাভ করিলে, বিদ্যুতাহিত হইলে, বা তপ্ত হইলে বস্তুর ভর বদলায় না। কোন কারণে যদি মহাকর্ষ লুপ্ত হইয়া যায়, তবুও বস্তুটির ভর সমান থাকিবে। নিউটনীয় এই ধারণাগুলি এযাবৎ চলিয়া আসিতেছে। কিন্তু আধুনিক গবেষণা হইতে জানা যায় যে, গতির পরিবর্তনে ভরের কিছু পরিবর্তন ঘটে। তাই নিউটনীয় বল-বিদ্যায় ভরের যে সংজ্ঞা আছে সূক্ষ্মতত্ত্বের দিক হইতে বিচার করিলে উহা একেবারে নিখুঁত নহে। এইসকল তাত্ত্বিক বিষয়ের বিস্তারিত আলোচনা এই প্রাথমিক বিজ্ঞানের গ্রন্থে সম্ভব নহে। **তোমরা বস্তুর ভরকে নিত্য বলিয়া ধরিয়া লইবে।**

পৃথিবীর ভর—ইহা পূর্বেই দেখান হইয়াছে যে, পৃথিবীপৃষ্ঠের কোন স্থানের ব্যাসার্ধ R হইলে, সেই স্থানে অভিকর্ষজাত ত্বরণ, $g = \frac{G.M}{R^2}$ হইবে। M পৃথিবীর ভর ও G মহাকর্ষ ধ্রুবক।

$M = g\frac{R^2}{G}$। $R=4000$ মাইল, $G=6{\cdot}67\times10^{-8}$ সি. জি. এস্. একক এবং $g=981$ সেন্টিমিটার, প্রতি বর্গ-সেকেণ্ডে, হইলে, $M=6{\cdot}1\times10^{27}$ গ্রাম (প্রায়) হয়। সুতরাং R এবং G জানা থাকিলে এবং g পরীক্ষার দ্বারা বাহির করিয়া লইলে পৃথিবীর ভর (M) হিসাব করিয়া বাহির করা যায়।

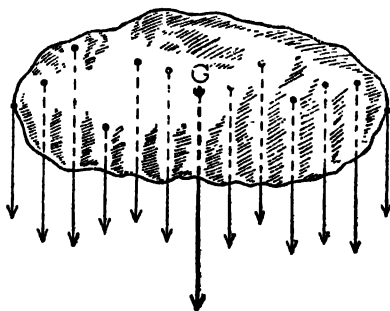
৮৭। **পৃথিবীর ঘনত্ব :**—পৃথিবীর গড় ঘনত্ব D হইলে, $D=\frac{\text{পৃথিবীর ভর}}{\text{পৃথিবীর আয়তন}}$

$$=\frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3}=\frac{gR^2}{G}\Big/\frac{4}{3}\pi R^3=\frac{3g}{4\pi G\times R}।$$

$g=981$ সেন্টিমিটার, প্রতি বর্গ-সেকেণ্ডে, এবং $G=6{\cdot}67\times10^{-8}$ সি. জি. এস্. একক, এবং $R=4000$ মাইল হইলে, পৃথিবীর গড় ঘনত্ব $D=5{\cdot}46$ গ্রাম, প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে। পৃথিবীর মৃত্তিকার উপরের স্তরগুলির ঘনত্ব এই মান হইতে অনেক কম। ইহা হইতে বুঝা যায় যে, পৃথিবীর অভ্যন্তরে ভারী দ্রব্যাদি, বিশেষ করিয়া নানাপ্রকার ধাতুর খনি আছে।

৮৮। **বস্তুর ভারকেন্দ্র বা অভিকর্ষকেন্দ্র** (Centre of Gravity) :—

পৃথিবীপৃষ্ঠের নিকটবর্তী কোনও বস্তুর উপর অভিকর্ষের টান হইল ঐ বস্তুর ভার। তাহা হইলে, ভার পৃথিবীর কেন্দ্রাভিমুখী একটি বল। এই বল বস্তুর কোন্ বিন্দুতে কাজ করে? বস্তুর প্রতিটি কণাই পৃথিবীর কেন্দ্রের দিকে আকৃষ্ট হইতেছে। এই বিভিন্ন বলগুলি চিত্র ৫১-তে দেখান হইয়াছে। পৃথিবীর কেন্দ্র বহু দূরে বলিয়া কণাগুলির উপর ক্রিয়াশীল এই বিভিন্ন বল-গুলিকে পরস্পর সমান্তরাল ধরা যায়। বলগুলি সবই পৃথিবীর কেন্দ্রাভিমুখী বা খাড়া নীচের দিকে কাজ করে। এই সমান্তরাল বলগুলিকে একটি মাত্র লব্ধি বলে সংযোজিত করা যাইতে পারে। এই লব্ধি বলই প্রস্তুতপক্ষে বস্তুটির ভার বা ওজন। যে-কোন্ বস্তুর বেলা এই লব্ধি বলটি একটি নির্দিষ্ট বিন্দুর মধ্য দিয়া খাড়া দিকে নিম্নাভিমুখে কাজ করে। বিন্দুটি সাধারণতঃ বস্তুটির ভিতরে কোথাও থাকে। কোন কোন ক্ষেত্রে এই বিন্দুটির অবস্থান বস্তুটির বাহিরেও



চিত্র ৫১

হয়। কিন্তু কোন ক্ষেত্রেই বিন্দুটির অবস্থান বস্তুটি কিভাবে রাখা হইয়াছে, তাহার উপর নির্ভর করিবে না। প্রদত্ত চিত্রে বিভিন্ন কণার উপর অভিকর্ষজাত বলগুলির লব্ধি বল একটি মোটা লাইন দিয়া সূচিত হইয়াছে। এই লব্ধি বল বা বস্তুটির ভার, বস্তুটির G বিন্দুর মধ্য দিয়া কাজ করিতেছে। বস্তুটিকে যেভাবেই হেলাইয়া রাখা হউক না কেন, উহার ভার সর্বদাই G বিন্দুর মধ্য দিয়া খাড়া নীচের দিকে কাজ করিবে। বস্তুটির ভর ও গঠনাকার ঠিক থাকিলে G বিন্দুর অবস্থিতি সকল অবস্থাতেই এক থাকিবে। এই বিন্দুটিকেই বস্তুর অভিকর্ষকেন্দ্র বা ভারকেন্দ্র বলা হয়। বস্তুর অভিকর্ষকেন্দ্র বা ভারকেন্দ্র সম্বন্ধে এইরূপ সংজ্ঞা দেওয়া যাইতে পারে—

কোন বস্তু বা কতকগুলি দৃঢ়ভাবে সংযুক্ত কণার দ্বারা গঠিত একটি বস্তুসংস্থার ক্ষেত্রে উহার বিভিন্ন কণার উপর ক্রিয়াশীল অভিকর্ষ বলগুলির সংযোজিত লব্ধি বল বস্তু বা সংস্থাটির সর্বাবস্থায় যে নির্দিষ্ট বিন্দুর মধ্য দিয়া কাজ করে, সেই বিন্দুটিকে ঐ বস্তুর বা সংস্থার অভিকর্ষকেন্দ্র বা ভারকেন্দ্র বলা হয়।

দ্রষ্টব্য ঃ (১) ভারকেন্দ্র বস্তুর ভরের ভিতরেও থাকিতে পারে, বাহিরেও থাকিতে পারে। একটি নিরেট গোলকের ভারকেন্দ্র বস্তুটির মধ্যে উহার জ্যামিতিক কেন্দ্রে অবস্থিত। একটি বলয়ের ভারকেন্দ্রও ইহার জ্যামিতিক কেন্দ্রে অবস্থিত, কিন্তু এই জ্যামিতিক কেন্দ্র বলয়ের ভরের মধ্যে নহে, শূন্যে।

(২) বস্তুর আকার বা আয়তন বদলাইলে বস্তুর ভারকেন্দ্রের অবস্থান বদলাইতে পারে, যদিও ভরের মান এক থাকিবে। একটি সরল রডের বেলায় উহার ভারকেন্দ্র থাকে রডের মধ্যস্থলে। রডটি বেঁকাইয়া চক্রাকার করিলে ভারকেন্দ্র ঐ চক্রের জ্যামিতিক কেন্দ্রে সরিয়া যায়, রডের মধ্যে থাকে না, থাকে শূন্যে।

(৩) কোন বস্তুকে উহার ভারকেন্দ্রে আলম্বিত করা হইলে উহা সাম্যে থাকে। কারণ আলম্বের প্রতিক্রিয়া-বল ভারের ক্রিয়া-বলের সমান এবং বিপরীতমুখী। কোন বস্তুকে কোন দৃঢ় অবলম্বন হইতে ঝুলাইয়া দিলে ঝুলন-বিন্দু ও বস্তুটির ভারকেন্দ্র একই খাড়া (vertical) সরলরেখা বরাবর থাকিবে। কারণ, বস্তুটি সাম্যাবস্থাধীন।

৮৯। কয়েকটি জ্যামিতিক প্রতিসমতাবিশিষ্ট (symmetrical) বস্তুর ভারকেন্দ্র ঃ—

স্থিতিবিদ্যার সূত্রাবলী প্রয়োগ করিয়া যে-কোন বস্তুর ভারকেন্দ্র নির্ধারণ করা সম্ভব। বলবিদ্যার যে-কোন গ্রন্থে এই সংক্রান্ত বিস্তারিত আলোচনা পাইবে। একটি

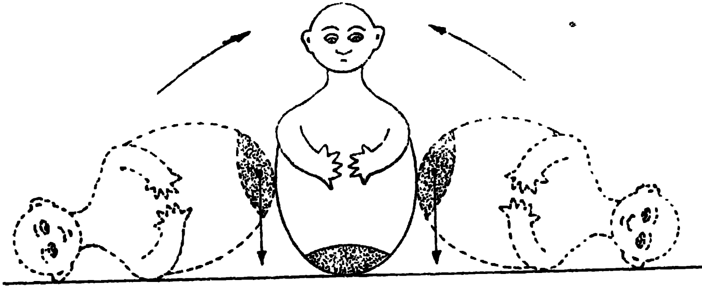
প্রতিসম বস্তুর বেলায় উহার ভারকেন্দ্র কোথায় তাহা অনায়াসেই বোঝা যায়। উদহরণস্বরূপ—

(১) একটি সর্বত্র সমঘন তার, রড বা বীমের (beam) ভারকেন্দ্র হইবে উহার অক্ষের মধ্যবিন্দুতে।

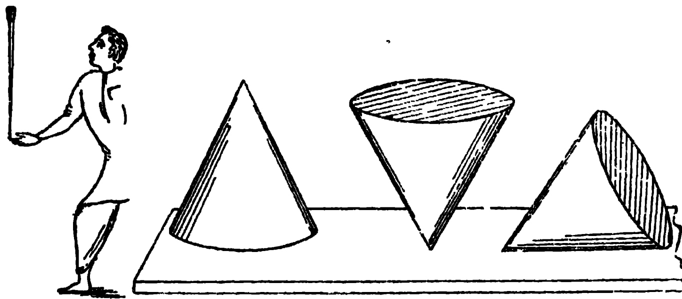
(২) ফাঁপা হউক বা নিরেট হউক, কোন গোলকের ভারকেন্দ্র উহার কেন্দ্রে হইবে। গোলাকার চাকৃতি বা বলয়ের ভারকেন্দ্রও উহাদের আপন আপন কেন্দ্রে অবস্থিত।

(৩) ফাঁপা বা নিরেট চোঙের ভারকেন্দ্র হইবে অক্ষের মধ্যবিন্দুতে।

৯০। বস্তুর সাম্য—সুস্থির সাম্য, অস্থির সাম্য ও নিরপেক্ষ সাম্য (Equilibrium of bodies—stable, unstable, and neutral equilibria.) :—



(i)



(ii) *(iii)*

চিত্র ৫২

কোন বস্তুর উপর লব্ধি বল শূন্য হইলেও উহার উপর ক্রিয়াশীল কোন কাপ্‌ল (couple) না থাকিলে বস্তুটির কোন চলন বা ঘূর্ণন গতি থাকিবে না এবং বস্তুটি সাম্যাবস্থাধীন থাকিবে।

মনে কর, কোন বস্তু উহার স্থির অবস্থান হইতে সামান্য পরিমাণ স্থানচ্যুত হইয়াছে। ঐ অবস্থায় বলের ক্রিয়ায় বস্তুটির নিম্নলিখিত তিনটি পরিস্থিতি দেখা দিতে পারে—

(১) বস্তুর উপর ক্রিয়ারত বলগুলি ইহাকে পূর্বতন সাম্যের অবস্থায় ফিরাইয়া আনিতে পারে ;

(২) বস্তুর উপর ক্রিয়ারত বলগুলি ইহাকে সাম্যের অবস্থা হইতে আরও অধিক বিচ্যুত করিতে পারে ;

(৩) ক্রিয়ারত বলগুলি সাম্যের অবস্থা হইতে বস্তুটির বিচ্যুতি আর বাড়াইতেও চাহিবে না, কমাইতেও চাহিবে না।

বর্ণিত প্রথম পরিস্থিতির ক্ষেত্রে সাম্যকে সুস্থির সাম্য, দ্বিতীয় পরিস্থিতির ক্ষেত্রে সাম্যকে অস্থির সাম্য ও তৃতীয় পরিস্থিতির ক্ষেত্রে সাম্যকে নিরপেক্ষ সাম্য বলা হয়। এই তিন প্রকারের সাম্যের উৎপত্তির মূলে আছে বস্তুর এক সাধারণ ধর্ম। ইহা এই যে, **বস্তুর ভারকেন্দ্র সর্বদাই নিম্নতম অবস্থানে যাইতে চায়।** ভারকেন্দ্র যত নীচে থাকিবে সাম্য ততই সুস্থির হইবে। চিত্র ৫২ (*i*)-এ ইহার একটি দৃষ্টান্ত দেখান হইয়াছে। একটি পুতুলের তলার দিকটা খুব ভারী হইলে উহার ভারকেন্দ্র নীচে থাকে। পুতুলটি খাড়া দাঁড়াইয়া থাকিলে উহার ভারকেন্দ্র নিম্নতম অবস্থানে থাকে। বামে অথবা ডাইনে হেলাইয়া দিলে ভারকেন্দ্র অপেক্ষাকৃত উপরে উঠিয়া যায়। ভারকেন্দ্র নিম্নতম অবস্থানে ফিরিয়া আসিতে চায় বলিয়া পুতুলটি হেলান অবস্থা হইতে খাড়া হইতে চায়। পুতুলটির শুইয়া থাকিবার অনিচ্ছা ছেলেমেয়েদের কাছে একটি বেশ ভাল খেলা।

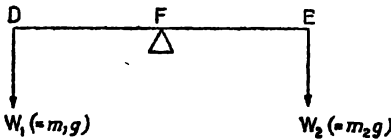
চিত্র ৫২, (*ii*)-এ, একটি লাঠি আঙ্গুলের ডগার উপর খাড়াভাবে সাম্যাবস্থায় রাখা হইয়াছে। আঙ্গুল বা লাঠিটি একটু নড়িয়া গেলে, (সামান্য এধার ওধার হইলেই), লাঠিটি পড়িয়া যাইবে। ইহা অস্থির সাম্যের একটি দৃষ্টান্ত। অস্থির সাম্যের বস্তুতে ভারকেন্দ্র উচ্চতম অবস্থানে থাকে। আঙ্গুলের প্রতিক্রিয়ার বল ঊর্ধ্ব দিকে খাড়া লাঠিটি বরাবর কাজ করে। লাঠিটির ভার ভারকেন্দ্রের মধ্য দিয়া খাড়া নিম্ন দিকে ক্রিয়া করে। এই বল-দুইটি পরস্পর সমান ও বিপরীত। আঙ্গুল একটু নড়িয়া গেলে আঙ্গুলের প্রতিক্রিয়া বল ও লাঠির ভার একরেখায় থাকে না—উহারা একটি কাপ্‌ল গঠন করে এবং এই কাপ্‌লের ক্রিয়ায় লাঠিটি কাত্‌ হইয়া পড়িয়া যায়।

চিত্রে ৫২, (*iii*)-এ, একটি শঙ্কুকে (cone) বাম হইতে ডাইনে পর পর সুস্থির, অস্থির ও নিরপেক্ষ সাম্যের অবস্থায় দেখান হইয়াছে। প্রথম অবস্থানে ভারকেন্দ্র

নিম্নতম অবস্থানে আছে বলিয়া শঙ্কুটির সাম্য সুস্থির। দ্বিতীয় ক্ষেত্রে ভারকেন্দ্র উচ্চতম অবস্থানে আছে বলিয়া শঙ্কুটির সাম্য অস্থির। তৃতীয় ক্ষেত্রে, ভারকেন্দ্র মাঝামাঝি অবস্থানে আছে এবং শঙ্কুটি গড়াইয়া দিলে উহার ভারকেন্দ্রের উচ্চতার কোন পরিবর্তন হয় না। তাই ইহার সাম্য অবস্থান-নিরপেক্ষ, বা ইহা নিরপেক্ষ সাম্যের একটি দৃষ্টান্ত।

৯১। সাধারণ তুলার ওজন নীতি :—

মনে কর, একটি সাধারণ তুলার দ্বারা ওজন নিয়া দেখা গেল যে, গৃহীত পড়িয়ান-গুলির ভরসমষ্টি m_2 নির্ণেয় ভর m_1-এর সহিত সাম্য সৃষ্টি করে (চিত্র ৫৩)। এই অবস্থায় তুলাদণ্ড DE অনুভূমিকভাবে স্থির আছে। মনে কর, F হইল তুলাদণ্ডের আলম্ব, g স্থানীয় অভিকর্ষ-জাত ত্বরণ, W_1 এবং W_2 হইল যথাক্রমে m_1 এবং m_2 ভরের ভার। তুলাপাত্র-দুইটির ওজন এবং তুলা-দণ্ডের ওজন ধর্তব্য মনে না করিলে, আলম্ব F-এর বাম দিকে W_1-এর মোমেণ্ট $= W_1 \times DF$। আবার, F-এর ডান দিকে W_2-এর মোমেণ্ট $= W_2 \times EF$। দণ্ড DE স্থির এবং অনুভূমিক, তাই $W_1 \times DF = W_2 \times EF$ হইবে। আমরা জানি তুলাটি সঠিক হইলে, আলম্ব F-এর দুই দিকে তুলাদণ্ডের দুই বাহু DF ও EF পরস্পরের সমান হইবে। তাহা হইলে এই ক্ষেত্রে, $W_1 = W_2$ হইবে। আবার, $W_1 = m_1 \times g$ এবং $W_2 = m_2 \times g$। অতএব $W_1 = W_2$ হইলে, $m_1 = m_2$ হইবে। সুতরাং তুলাদণ্ডে সাম্য আসিবে বা তুলাদণ্ড অনুভূমিক হইবে তখন যখন প্রমাণ ভর m_2 নির্ণেয় ভর m_1-এর সমান হইবে। তুলার সাহায্যে ওজন করার সরল নীতি ইহাই।



চিত্র ৫৩

দ্রষ্টব্য : (১) তুলার কার্যনীতিতে আমরা দেখি যে, m_1-এর ভার m_2-র ভারের সমান। কিন্তু m_2 হইল কতকগুলি প্রামাণ্য ভরের যোগফল। ইহাদের ভার কত তাহা জানা নাই। তাহা হইলে m_1-এর ভার কত তাহাও জানা হইল না। তাই মনে রাখিবে, তুলা ভার নির্ণয় করে না, ভর নির্ণয় করে। যদি স্থানীয় অভিকর্ষজাত ত্বরণ g জানা থাকে, তবে প্রামাণ্য ভরের ভার $= m_2 g$। অতএব বস্তুটির ভার $= m_1 g$।

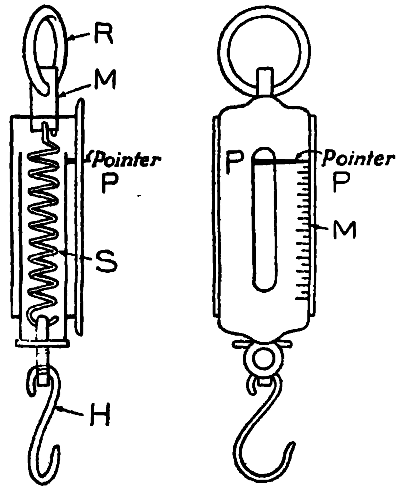
(২) m_1 ভরের বস্তুটিকে অন্য কোন স্থানে লইয়া গেলে সেখানে অভিকর্ষজাত ত্বরণ যদি g' হয় তবে এখন উহার ভার হইবে $m_1 g'$; অর্থাৎ, ভার $m_1 g$ হইতে বদলাইয়া $m_1 g'$ হইবে কিন্তু নতুন স্থানে তুলার সাহায্যে বস্তুটির ওজন নির্ণয় করিতে গেলে

অন্য তুলাপাত্রে পূর্বস্থানের ভর m_2 রাখিলেই চলিবে। কারণ, নতুন স্থানে m_2 ভরের ভারও m_2g হইতে বদলাইয়া m_2g' হইবে। তাহা হইলে m_1g' নতুন স্থানে m_2g'-এর সহিত তুলাদণ্ডে সাম্য সৃষ্টি করিবে, কারণ $m_1 = m_2$, পূর্বেই জানা গিয়াছে। তাই কোন বস্তু বিভিন্ন স্থানে লইয়া গেলে উহার ভারের যে পরিবর্তন হইবে সাধারণ তুলা তাহা দেখাইতে অক্ষম। কোন বস্তুর ভার বাহির করিতে হইলে, সরাসরি বল মাপিতে পারে এইরূপ কোন যন্ত্র দরকার।

৯২। স্প্রিং তুলা (Spring Balance):—

এই যন্ত্রটির সাহায্যে কোন বল সরাসরি মাপা যায়। কোন বস্তুর ভারও একটি বল। অতএব এই যন্ত্রদ্বারা বস্তুর ভারও সরাসরি মাপা যায়।

এই যন্ত্রের মুখ্য অংশ হইল একটি পেঁচান স্প্রিং S (চিত্র ৫৪)। এই স্প্রিংটির উপরের প্রান্ত ধাতুনির্মিত একটি প্লেট (M) হইতে ঝুলান হয় এবং প্লেটটির সহিত একটি রিং লাগান থাকে। ব্যবহার করিবার সময়ে এই রিংটি কোন দৃঢ় অবলম্বন হইতে ঝুলান হয়। স্প্রিংটির নীচের প্রান্তে একটি শক্ত আংটা (H) থাকে। পরীক্ষণীয় বস্তু হয় আংটায় আটকাইয়া দেওয়া হয় অথবা তুলাপাত্রে রাখিয়া তুলাপাত্রটি আংটায় ঝুলাইয়া দেওয়া হয়। একটি সূচক-কাঁটা (P) স্প্রিংটির সহিত উল্লম্বভাবে যুক্ত থাকে। স্প্রিংটির অক্ষ বরাবর নিম্ন দিকে কোন বল প্রযুক্ত হইলে, ঐ বলের ক্রিয়ায় স্প্রিংটি দৈর্ঘ্যের দিকে প্রসারিত হয়। এই প্রসারণের পরিমাণ প্রযুক্ত বলের মানের উপর নির্ভর করে। কোন জানা বল স্প্রিং-এ প্রয়োগ করিয়া সূচকটি (P) যেখানে আসে সেখানে দাগ দিয়া উহার পাশে ঐ বলের মান নির্দেশ করিয়া রাখা হয়। এইরূপ বিভিন্ন জানা বল ব্যবহার করিয়া সূচকপ্রান্তের অবস্থানসূচক একটি সরল খাড়া স্কেল অঙ্কন করা যায়। এই স্কেল নির্ণয় করাকে যন্ত্রটির স্কেলাঙ্কন (calibration) বলে।



চিত্র ৫৪

কোন অজানা ভার হুকে ঝুলাইলে সূচক-কাঁটা (P) নামিয়া আসিয়া স্কেলের

যে দাগে দাঁড়ায় তাহা ভারটির মান নির্দেশ করে। স্প্রিং-এর প্রসারণ প্রযুক্ত বলের আনুপাতিক বলিয়া স্কেলের ভাগগুলি সব সমান হইবে।

একই বস্তু বিভিন্ন স্থানে লইয়া গেলে উহার ভার বদলায়। বস্তুর ভর (m_1) সমান থাকে, কিন্তু g-র মান বিভিন্ন স্থানে বিভিন্ন বলিয়া এরূপ হয়। স্প্রিং-তুলা বিভিন্ন স্থানে সঙ্গে লইয়া গিয়া এই বিভিন্ন ভার নির্ণয় করা যায়। কারণ, স্প্রিং-তুলা m_1 মাপে না, m_1g (বা ভার) মাপে।

এক ঘনফুট জল বিষুবরেখায় অবস্থিত কোন স্থানে স্প্রিং-তুলায় মাপিলে উহার ওজন যত আছে মনে হইবে, লণ্ডনে মাপিলে ঐ ওজন তদপেক্ষা $3\frac{1}{2}$ আউন্স বেশি মনে হইবে।

Example

A body is weighed in a spring balance at a place where $g = 980{\cdot}94$ cm./sec.^{2}, and the reading indicated by the balance is 50 gms. What will be the reading if the body be taken to a place where $g = 981{\cdot}54$ cm./sec.^{2}.

উত্তর : ধরা যাক্, W_1 ও W_2 ঐ দুই স্থানে বস্তুটির ওজন এবং g_1 ও g_2 যথাক্রমে ঐ দুই স্থানে অভিকর্ষজাত ত্বরণ। উভয় স্থানেই বস্তুটির ভর (m) সমান। অতএব $W_1 = mg_1$ এবং $W_2 = mg_2$.

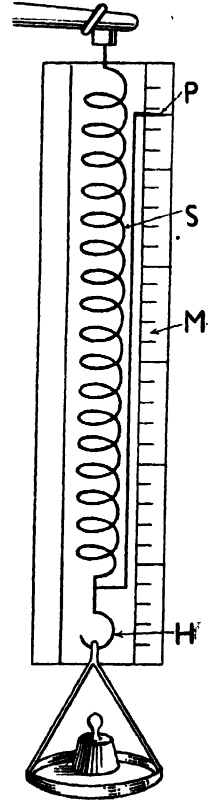
$$\therefore \quad \frac{W_2}{W_1} = \frac{mg_2}{mg_1} = \frac{g_2}{g_1} = \frac{981{\cdot}54}{980{\cdot}94};$$

$$\text{বা,} \quad W_2 = W_1 \times \frac{981{\cdot}54}{980{\cdot}94} = 50 \times \frac{981{\cdot}54}{980{\cdot}94} = 50{\cdot}031 \text{ গ্রাম, (প্রায়)।}$$

৯৩। স্প্রিং-তুলা নির্মাণের একটি পরীক্ষা :—

একটি ইস্পাতের সরু তারের তৈয়ারী স্প্রিং (S) লও (চিত্র ৫৫)। ইহাকে খাড়াভাবে উপর হইতে ঝুলাও। একখানি পাতলা কাঠের তক্তা স্প্রিংটির পিছনে সামান্য ফাঁক রাখিয়া খাড়াভাবে বসাও এবং তারপর মিলিমিটার-চিহ্নিত একখানি অর্ধমিটার স্কেল (M) স্প্রিংটির ডাইনে ঐ তক্তার উপর বসাও। এবার স্প্রিংটির বাম দিক বরাবর খাড়াভাবে একটি কাঠের পাত ঐ তক্তার উপর আঁটো। তাহা হইলে দাঁড়াইল এই যে, স্প্রিংটি স্কেলের দৈর্ঘ্য বরাবর একটি খাড়া খাঁজের মধ্যে বিনা

বাধায় এবং বিনাঘর্ষণে সম্প্রসারিত বা সংকোচিত হইতে পারিবে। পিত্তলের তার বেঁকাইয়া চিত্রে যেরূপ দেখান আছে ঐরূপ একটি সূচক-কাঁটা (P) তৈয়ারি কর এবং উহা স্প্রিংটির নিম্ন প্রান্তে লাগাও। এই কাঁটাটির উপরের বাহু স্প্রিংটির আড়দিকে অর্থাৎ অনুভূমিকভাবে থাকিবে ও স্প্রিংটির দৈর্ঘ্য কমিলে বা বাড়িলে উহা স্কেলের উপর দিয়া উঠা-নামা করিতে পারিবে। স্প্রিংটির তলায় একটি হুক (H) লাগাও এবং এই হুক হইতে একটি হালকা তুলাপাত্র ঝুলাও। এইবার স্প্রিং তুলাটি স্কেলাঙ্কনের উপযুক্ত হইল, অর্থাৎ স্কেলের দাগের উপর এবার ওজনের মান নির্দেশ করা যাইবে।

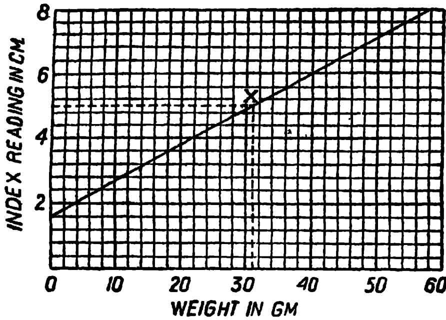


চিত্র ৫৫

তুলাপাত্রে কোন ওজন না চাপাইয়া সূচকটি (P) স্কেলের কোন্ দাগে মিলে দেখ। সূচকটি যাহাতে কোন দাগের সহিত অবিকল মিলিতে পারে সেজন্য স্প্রিংটিকে সামান্য উঠাইতে বা নামাইতে হইতে পারে। এই দাগ শূন্য ওজন সূচিত করিবে। এখন তুলাপাত্রে একটি জানা ওজন (মনে কর, 10 গ্রাম) বসাও ও সূচকটি কোথায় নামিয়াছে দেখ। এইভাবে ওজন 10 গ্রাম করিয়া বাড়াইতে বাড়াইতে প্রত্যেক ওজনের জন্য পাঠ লও। স্প্রিংটির দৈর্ঘ্য প্রায় দ্বিগুণ হওয়া পর্যন্ত এইরূপ করিবে। এইবার ধীরে ধীরে চাপান ওজন কমাইয়া প্রত্যেক ওজনের জন্য আবার পাঠ লও। একই ওজনের জন্য, ওজন বাড়াইবার বেলা ও কমাইবার বেলা, পাঠ একই হইবার কথা। সামান্য তারতম্য হইলে দুই পাঠের গড় ঐ ওজনের পাঠ বলিয়া গণ্য করিবে। এখন এই পাঠগুলি হইতে স্প্রিং-তুলার 'ওজন বনাম পাঠ লেখ' (calibration graph) আঁকিতে হইবে।

ছক্-কাগজের X-অক্ষ ধরিয়া ওজন ও Y-অক্ষ ধরিয়া সূচকের পাঠ সূচিত করিবে (চিত্র ৫৬)। প্রত্যেক ওজন ও উহার পাঠ দ্বারা ছকের উপর একটি বিন্দুচিহ্ন বসাও। এইরূপে চিহ্নিত পর পর বিন্দুগুলির উপর দিয়া যে রেখা যাইবে তাহাই হইবে স্প্রিং-তুলার ক্যালিব্রেশন গ্রাফ। ইহা একটি সরলরেখা হইবে। পরীক্ষণীয়

বস্তু তুলাপাত্রে রাখিয়া উহার জন্য পাঠ লইলে, ঐ পাঠ হইতে, ক্যালিব্রেশন গ্রাফের সাহায্যে উহার ওজন নির্ণয় করা যাইবে।



চিত্র ৫৬

দৃষ্টান্তস্বরূপ মনে কর, পরীক্ষণীয় বস্তুটি তুলাপাত্রে রাখিলে সূচকটি 5 সেন্টিমিটার দাগে নামে। Y-অক্ষ ধরিয়া 5 সেন্টিমিটার পর্যন্ত যাও। এই বিন্দু হইতে X-অক্ষের সমান্তরাল একটি সরলরেখা (বিন্দু বিন্দু) টানো। এই রেখাটি ক্যালিব্রেশন গ্রাফকে × বিন্দুতে ছেদ করে দেখান হইয়াছে। × হইতে X-অক্ষের উপর এক লম্ব টানো। এই লম্ব X-অক্ষের 31 গ্রাম সূচক বিন্দুতে পড়িয়াছে। এতএব ঐ বস্তুর ওজন হইল $31g$ ডাইন। অন্য স্থানে (যেখানে স্থানীয় অভিকর্ষজাত ত্বরণ, মনে কর, g') ঐ বস্তুটি এই তুলায় ওজন করিলে কি ওজন পাইবে? এই নূতন স্থানে ভরটির প্রকৃত ভার হইবে $31g'$। তুলার পাঠ এখন x_1 হইলে, $x_1 \times g = 31g'$। সুতরাং $x_1 = \frac{31 \times g'}{g}$ গ্রাম হইবে। g'-এর মান g-র মান হইতে বড় হইলে, ওজন বাড়িয়াছে দেখা যাইবে। g' এই মান হইতে কম হইলে ওজন কমিয়াছে দেখা যাইবে।

৯৪। বলের মহাকর্ষ একক :—

বলের পরম একক, ডাইন বা পাউণ্ড্যাল, অনেক ক্ষেত্রেই ব্যবহারের পক্ষে অসুবিধাজনক, কারণ ইহারা ছোট একক। যেসব ক্ষেত্রে আরও বড় একক প্রয়োজন সেখানে মহাকর্ষ একক ব্যবহার করা হয়।

এক মহাকর্ষ একক বল = একক ভরের ভার।

(ক) সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে বলের এক মহাকর্ষ একক (**1 gravitational unit of force**) হইল এক গ্রাম-ভার (**1 gm.-wt.**)। এক গ্রাম-ভার $= P = m \times g = 1 \times g = g$ ডাইন। অতএব m গ্রাম-ভার $= mg$ ডাইন। এক স্থান হইতে অন্য স্থানে g-র মান ভিন্ন বলিয়া, 1 গ্রাম-ভারের মান এক এক স্থানে এক এক রকম

হইবে। g-এর অন্য কোন মান দেওয়া না থাকিলে উহাকে 981 সেন্টিমিটার, প্রতি বর্গ-সেকেণ্ডে, ধরিতে হয়।

(খ) এফ. পি. এস্. পদ্ধতিতে বলের মহাকর্ষ একক হইল এক পাউণ্ড-ভার (1 lb.-wt.)। এক পাউণ্ড-ভার (1 lb.-wt.) $= m \times g = 1 \times g = g$ পাউণ্ড্যাল্। অতএব m পাউণ্ড-ভার mg পাউণ্ড্যাল্। g-র অন্য কোন মান দেওয়া না থাকিলে উহাকে 32·2 ফুট, প্রতি বর্গসেকেণ্ডে, ধরিতে হয়।

মনে রাখিও যে—

এক মহাকর্ষ একক বল $= g \times$ এক পরম একক বল। কাজেই, মহাকর্ষ একক বলের পরম মান ধ্রুব নহে, স্থানভেদে g-র মান বিভিন্ন বলিয়া বিভিন্ন স্থানে উহার মান বিভিন্ন হয়।

দ্রষ্টব্য : (১) $P = mf$, সংকেত সমীকরণটি কেবলমাত্র যেখানে বলের পরিমাণ পরম এককে প্রকাশ করা হয় (অর্থাৎ ডাইনে বা পাউণ্ড্যালে) সেইসব ক্ষেত্রেই প্রযোজ্য। বল মহাকর্ষ এককে ব্যক্ত হইলে এই সংকেত-সমীকরণ প্রযোজ্য হইবে না।

(২) অতএব কোন অঙ্কে বল মহাকর্ষ এককে দেওয়া থাকিলে প্রথমতঃ উহাকে g দিয়া গুণ করিয়া পরম এককে পরিবর্তিত করিতে হইবে। তারপর, $P = mf$ সমীকরণ প্রয়োগ করা যাইবে।

(৩) শেষ ফলকে মহাকর্ষ এককে প্রকাশ করিতে হইলে পরম এককের মানকে g দিয়া ভাগ করিতে হইবে।

Examples

1. *A force of 10 lbs.-wt. acting on a body generates an acceleration of 4 ft./sec². Find the mass of the body.*

উত্তর : $P = 10$ পাউণ্ড-ভার $= 10 \times 32{\cdot}2$ পাউণ্ড্যাল্ $= 322$ পাউণ্ড্যাল্ ; $f = 4$ ফুট, প্রতি বর্গ-সেকেণ্ডে ; $m = ?$

অতএব, $P = m \times f$ সমীকরণ হইতে, $322 = m \times 4$; বা, $m = \frac{322}{4} = 80{\cdot}5$ পাউণ্ড।

2. *Express the force of 1 ton-wt. into dynes* ($g = 981{\cdot}4$ *cm./sec.²*)

উত্তর : 1 টন-ভার $= 2240$ পাউণ্ড-ভার $= 2240 \times 453{\cdot}6$. গ্রাম-ভার $= 2240 \times 453{\cdot}6 \times 981{\cdot}4$ ডাইন $= 9{\cdot}97 \times 10^8$ ডাইন $= 997$ মেগাডাইন।

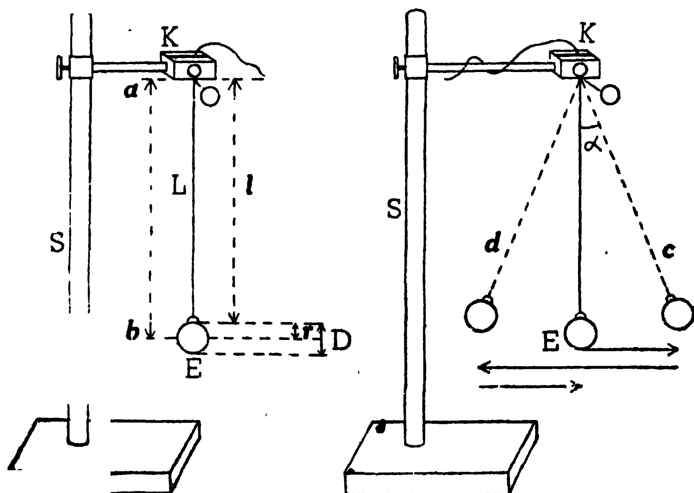
দোলক

৯৫। দোলক (Pendulum) :—

কোন দৃঢ় অবলম্বন হইতে একখানি সরু সুতা দিয়া একটি গোলক বা বব্ (bob) ঝুলাইলে এই সুতা ও ববের সম্মিলিত অবস্থাকে (system) পেণ্ডুলাম বা দোলক বলা হয়। ১৫৮৩ খ্রীষ্টাব্দে ইতালীয় বিজ্ঞানী গ্যালিলিও এক চমকপ্রদ বৈজ্ঞানিক আবিষ্কার করেন। পিসা (Pisa)-র এক গির্জার মধ্যে একদিন তিনি একটি বাতিদান দুলিতেছিল লক্ষ্য করিলেন। তিনি দেখিলেন যে, বাতিদানটির দোলন ধীরে ধীরে থামিয়া আসিতে লাগিল (বা দোলনকোণ ধীরে ধীরে কমিতে লাগিল)। কিন্তু, আশ্চর্যের বিষয়, একটি সম্পূর্ণ দোলনের সময় (দোলনকাল) একই রহিয়া গেল। অর্থাৎ উহা দোলনবিস্তৃতির উপর নির্ভর করে না ইহা তিনি লক্ষ্য করিলেন। তিনি তখন হাতে নাড়ীর স্পন্দন গুণিয়া সময় গুণিয়াছিলেন। এই আবিষ্কার হইতেই দোলকের সাহায্যে ঘড়ি তৈয়ারি করার কথা তিনি ভাবিতে থাকেন। তাঁহার মৃত্যুর পর তাঁহার পুত্র প্রথম দোলকযুক্ত ঘড়ি প্রস্তুত করেন। পরবর্তী কালে হেগেন্স (Huygens) আরও সফলভাবে ঘড়িনির্মাণে দোলক ব্যবহার করেন।

৯৬। দোলক (বা পেণ্ডুলাম) সম্বন্ধে ব্যবহৃত কয়েকটি কথা :—

(১) **সরল দোলক**— একটি ভারী বস্তুকণা কোন দৃঢ় অবলম্বন হইতে একটি



চিত্র ৫৭

ভারশূন্য (weightless) ও অপ্রসারণীয় (inextensible) সূত্রের সাহায্যে ঝুলাইলে এবং ঐ সূত্র ঘর্ষণ এড়াইয়া স্বাধীনভাবে দুলিতে পারিলে, ঐরূপ ঝুলন্ত কণাকে একটি সরল দোলক বলা হয়। কার্যতঃ, একটি ধাতব ছোট গোলক একটি দৃঢ় অবলম্বন হইতে একটি সূক্ষ্ম দীর্ঘ সূত্রের সাহায্যে ঝুলাইলে একটি সরল দোলক পাওয়া যায় (চিত্র ৫৭)।

(২) **দোলকের দৈর্ঘ্য বা কার্যকর দৈর্ঘ্য**—ঝুলনবিন্দু (point of suspension) হইতে বব্ ও সূত্র যৌথের ভারকেন্দ্র পর্যন্ত দূরত্বকে দোলকের দৈর্ঘ্য বলা হয়। সূত্রের ভার খুব কম বলিয়া এই যৌথ সংস্থার ভারকেন্দ্র ববের ভারকেন্দ্রেই কার্যতঃ অবস্থিত মনে করা যায়। অতএব দোলকের দৈর্ঘ্য = সূত্রের দৈর্ঘ্য + ববের খাড়া দিকের ব্যাসার্ধ (চিত্র ৫৭-এ, দৈর্ঘ্য $L=ab=l+r$)। ইহাকে সাধারণতঃ দোলকের কার্যকর দৈর্ঘ্যও (effective length) বলা হয়।

(৩) **দোলনবিস্তৃতি** (amplitude of oscillation).—দোলকের বব্ স্থির থাকিলে উহার ঝুলনসূত্র খাড়াভাবে থাকিবে। বব্ দুলিতে দুলিতে ডাইন বা বাম দিকের প্রান্তে গেলে সূত্রটিও হেলিয়া যাইবে। সূত্রের শেষ প্রান্তীয় অবস্থান এবং উহার স্থির খাড়া অবস্থানের মধ্যে ঝুলন-বিন্দুতে যে কোণ উৎপন্ন হয়, তাহা দ্বারাই দোলকের দোলনবিস্তৃতি মাপা হয় (চিত্র ৫৭-এ এই কোণ α দ্বারা সূচিত করা হইয়াছে)। এই দোলনকোণ $4°$র কম হইবে, ইহাও সরল দোলকের একটি আবশ্যিক সর্ত। দুলিতে দুলিতে বায়ুর সহিত ঘর্ষণের ফলে দোলকের দোলনবিস্তৃতি ক্রমেই কমিয়া আসিতে থাকে।

(৪) **সরল দোলকের দোলনকাল** (period of a simple pendulum)—

একটি পূর্ণ দোলনে দোলকের যত সময় লাগে উহাকে উহার দোলনকাল বলে। একটি পূর্ণ দোলনের অর্থ কি ? পর্যবেক্ষণের প্রারম্ভিক দশা (initial phase) হইতে একই দশায় দ্বিতীয় বার ফিরিয়া আসিলে দোলকের এক দোলন পূর্ণ হয়। বামপ্রান্তীয় অবস্থান d হইতে দোলকটি পুনরায় ঐ বামপ্রান্তীয় অবস্থানে (dতে) ফিরিয়া আসিলে একটি দোলন পূর্ণ হইবে (চিত্র ৫৭)। অথবা, দোলকটি ডাইনপ্রান্তীয় অবস্থান c হইতে পুনরায় ঐ ডাইনপ্রান্তীয় অবস্থানে ফিরিয়া আসিলে একটি দোলন পূর্ণ হইবে। অথবা, দোলকটি সুস্থির অবস্থান E হইতে শুরু করিয়া c পর্যন্ত গিয়া E-তে ফিরিয়া আসিয়া, ক্রমান্বয়ে d পর্যন্ত গিয়া, আবার E-তে ফিরিয়া আসিলে একটি দোলন পূর্ণ হইবে। চিত্রে ইহা তীরচিহ্ন দ্বারা প্রদর্শিত হইয়াছে।

দোলকের দৈর্ঘ্য L এবং স্থানীয় অভিকর্ষজাত ত্বরণ g হইলে,

দোলকের দোলনকাল, $T=2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ হইবে ... ... (১)

এই সংকেতসূত্র হইতে বুঝা যায় T কি ভাবে দোলকের দৈর্ঘ্য ও স্থানীয় অভিকর্ষজাত ত্বরণের উপর নির্ভর করে। আরও বুঝা যায় যে, T ববের পদার্থ বা উহার ভরের উপর নির্ভর করে না।

৯৭। সরল দোলকের সূত্রাবলী (The Laws of Simple Pendulum) :—

প্রথম সূত্র.—একটি সরল দোলকের পর্যায়কাল (time period) সর্বদা একই হইবে। এই সূত্রটিকে এইজন্য সমকালসূত্র (law of isochronism) বলা হয়। সূত্রটির অর্থ হইল এই যে, সরল দোলকের দোলনকাল বা পর্যায়কাল দোলনবিস্তৃতির উপরে নির্ভর করে না, ইহা দোলনবিস্তৃতি নিরপেক্ষ। দেখা গিয়াছে যে দোলনবিস্তৃতি 4° ডিগ্রীর মধ্যে যাহাই হউক না কেন, প্রতি দোলন সম্পূর্ণ হইতে একই সময় লাগে। পূর্ববর্তী সংকেত সমীকরণ (১) হইতেই বুঝা যায় যে, পর্যায়কাল (T) দোলনবিস্তৃতির উপর নির্ভর করে না।

দ্বিতীয় সূত্র.—একটি সরল দোলকের পর্যায়কাল (T) উহার দৈর্ঘ্যের (L) বর্গমূলের সমানুপাতিক হয়, বা $T\propto\sqrt{L}$, বা $\frac{L}{T^2}=$একটি স্থির রাশি, পর্যবেক্ষণস্থল অপরিবর্তিত থাকিলে। সমীকরণ (১) হইতেও সূত্রটি এইরূপ হইবে সরাসরি বুঝা যায়। তাহা হইলে দোলকের দৈর্ঘ্য চার গুণ বাড়ান হইলে পর্যায়কাল দ্বিগুণ হইবে, ইত্যাদি। এই সূত্রটিকে দৈর্ঘ্যের সূত্র বলা যায়।

মন্তব্য : তাপমাত্রা পরিবর্তিত হইলে দোলকের দৈর্ঘ্য সাধারণতঃ পরিবর্তিত হয় বলিয়া বলা যায় যে, তাপমাত্রার সঙ্গে দোলকের পর্যায়কাল পরিবর্তিত হয়।

তৃতীয় সূত্র.—একটি সরল দোলকের পর্যায়কাল (T) পর্যবেক্ষণস্থলের অভিকর্ষীয় ত্বরণের বর্গমূলের ব্যস্তানুপাতিক হয়; অর্থাৎ $T\propto\frac{1}{\sqrt{g}}$, দোলকের দৈর্ঘ্য অপরিবর্তিত থাকিলে। পূর্ববর্তী সমীকরণসূত্র (১) হইতে ইহা সরাসরি বুঝা যায়। এই সূত্রটিকে সাধারণতঃ ত্বরণের সূত্র বলা হয়। $T\propto\frac{1}{\sqrt{g}}$ সূত্রটিকে $T^2\times g=$একটি স্থির রাশি, দৈর্ঘ্য অপরিবর্তিত,

থাকিলে, এইভাবেও লেখা যায়। সূত্রটি হইতে বুঝা যায় যে, কোন স্থানে অভিকর্ষীয় ত্বরণের (g)-এর মান বেশি হইলে ঐ স্থানে সরল দোলকের পর্যায়কাল কম হইবে, অর্থাৎ দোলকটি তাড়াতাড়ি দুলিবে।

চতুর্থ সূত্র।—দোলকের দৈর্ঘ্য অপরিবর্তিত থাকিলে কোন সরল দোলকের পর্যায়-কাল উহার ববের ভরের মানের উপর কিংবা ব‌ব্‌টি কি পদার্থে তৈয়ারী তাহার উপর নির্ভর করে না। এই সূত্রটিকে সাধারণতঃ দোলকের ভরসূত্র বলা হয়। সুতরাং বুঝা যায় যে, দোলকের দৈর্ঘ্য সমান থাকিলে পিতল, সীসা, অ্যালুমিনিয়ম যাহাদ্বারাই উহার বব্‌ তৈয়ারী হউক না কেন, দোলকের পর্যায়কাল উহাদের সকলের বেলাই একই হইবে।

৯৮। দোলন ও স্পন্দন :—একটি **দোলন** (oscillation)-ও একটি স্পন্দন (vibration) এক কথা নয় ; দোলনকালে এক প্রান্ত সীমা হইতে অন্য প্রান্ত সীমা পর্যন্ত গোলকের গমনকে দোলকের একটি স্পন্দন বলে। আর গোলকটি এক প্রান্ত হইতে অন্য প্রান্তে গিয়া পুনরায় পূর্বপ্রান্তে ফিরিয়া আসাকে দোলকের একটি দোলন বলে। তাহা হইলে স্পন্দনের সময়কাল এক দোলনের সময়কালের অর্ধে।

৯৯। সরল দোলকের দোলনসংখ্যা :—

এক সেকেণ্ডে একটি দোলকের যত বার দোলন হয় ঐ সংখ্যাকে দোলকটির দোলন-সংখ্যা বলে।

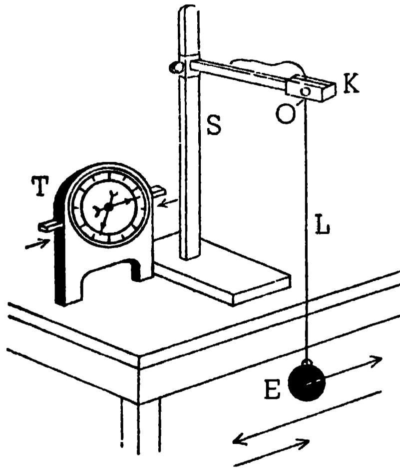
T দোলনকাল ও n দোলনসংখ্যা হইলে, $nT=1$ সেকেণ্ড ;

বা, $n=\frac{1}{T}$; বা, $T=\frac{1}{n}$ সেকেণ্ড।

[illegible]০। সরল দোলকের দোলনকাল নির্ণয় করা :—পৃষ্ঠে একটি ছোট হুক খাটো [illegible] মোটামুটি এক ইঞ্চি ব্যাসার্ধের একটি লোহা বা পিতলের বব্‌ লও। একখণ্ড সূতা, একটি স্টপ্‌ ক্লক, একখানি মিটার স্কেল, একটি স্লাইড ক্যালিপার, একটি কাঠের স্ট্যাণ্ড এবং ক্ল্যাম্প (clamp) দরকার হইবে।

বব্‌টির খাড়া দিকের ব্যাস স্লাইড ক্যালিপারটি দিয়া অন্ততঃ তিন বার মাপ। ইহা হইতে গড় ব্যাস ও ঐ ব্যাসার্ধ বাহির কর। এখন স্ট্যাণ্ডের (S) ক্ল্যাম্প (K) হইতে সূতা দিয়া বাঁধিয়া বব্‌টি (E) ঝুলাইয়া দাও। যে টেবিলে কাজ করিবে উহার ধারে বব্‌টি ঝুলাইতে হইবে (চিত্র ৫৮)।

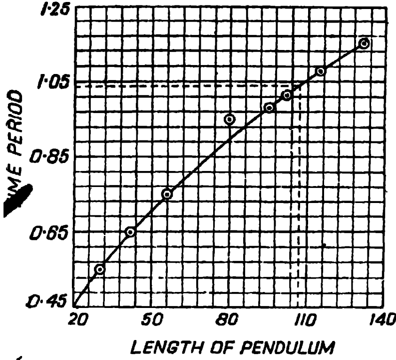
প্রথমে দোলকের দৈর্ঘ্য বেশ বড় (140 সেন্টিমিটার মত) রাখ। ঝুলনবিন্দু (O) যাহাতে দৃঢ় থাকে সেইভাবে ক্ল্যাম্পের স্ক্রু শক্ত করিয়া আঁটো। দোলকের সুস্থির অবস্থানের সহিত মিলাইয়া টেবিলের ধারে চক দিয়া একটি খাড়া দাগ দাও। বব্‌টিকে এক পাশে সামান্য সরাইয়া (টেবিলের ধার ধরিয়া খাড়া সমতলে) তারপর ছাড়িয়া দাও (ঝাঁকি না দিয়া) বব্‌টি যেন ঘোরপাক (spin) না খায়, অর্থাৎ, বব্‌টি যেন বৃত্তীয় একটি ছোট চাপ ধরিয়া দুলিতে থাকে, উপবৃত্তীয় পথে যেন না ঘোরে। দোলনবিস্তৃতি আনুমানিক 4° কাঁছা-কাছি না হওয়া পর্যন্ত অপেক্ষা কর। এবার দোলক যে মুহূর্তে সুস্থির অবস্থান (চক দিয়া দেওয়া দাগ) অতিক্রম করিবে (মনে কর, ডাইন দিকে) সেই মুহূর্তে স্টপ্ ক্লকের (T) হুড়কা ঠেলিয়া দিয়া ঘড়ি চালাইয়া দিবে। দুলিতে দুলিতে দোলক পুনরায় দ্বিতীয় বার যখন সুস্থির অবস্থানের দাগ হইতে ডাইন দিকে যাওয়ার উপক্রম করিবে তখন একটি দোলন পূর্ণ হইল বুঝিবে। এইরূপে 20টি দোলন পূর্ণ হওয়া মাত্র স্টপ্ ক্লকের হুড়কা এবার পূর্বের বিপরীত দিকে ঠেলিয়া ঘড়িটি বন্ধ কর। স্টপ্ ক্লকে নির্দেশিত সময় হইল 20টি দোলনের সময়। 20টি দোলনের সময় অন্ততঃ 3 বার মাপিবে। ইহাদের গড়কে 20 দিয়া ভাগ করিয়া এক গড় দোলনকাল বাহির কর।



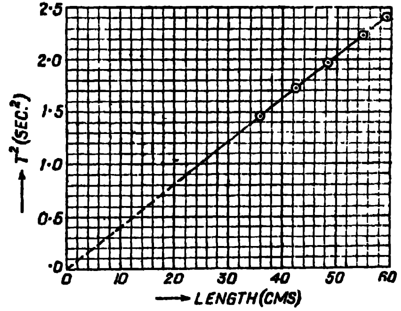
চিত্র ৫৮

এবার সুতার দৈর্ঘ্য কমাইয়া দোলকের দৈর্ঘ্য 10 সেন্টিমিটার মত কমাও। পুনরায় 20টি দোলনের সময় 3 বার নির্ণয় কর এবং ইহাদের সাহায্যে এক গড় দোলনকাল নির্ণয় কর। এইভাবে অন্ততঃ 5টি বিভিন্ন দৈর্ঘ্যের জন্য দোলনকাল বাহির করিতে হইবে। দোলকের দৈর্ঘ্য (L) X-অক্ষ ধরিয়া ও দোলনকাল (T) Y-অক্ষ ধরিয়া একটি লেখ আঁক (চিত্র ৫৯)। আবার, L-কে X-অক্ষ ধরিয়া এবং T^2-কে Y-অক্ষ ধরিয়া আর-একটি লেখ আঁক (চিত্র ৬০-এর মত)। প্রথম লেখটি এক

অধিবৃত্তের এক বাহু (an arm of a parabola) হইবে। দ্বিতীয় লেখটি এক সরলরেখা হইবে এবং লেখ-র মূলবিন্দুর (0,0) মধ্য দিয়া যাইবে।



চিত্র ৫৯



চিত্র ৬০

মন্তব্য ঃ (১) দোলকের দৈর্ঘ্য বেশি হইলে দোলনকালও বেশি হইবে। দোলনকাল বড় না হইলে তাহা সঠিকভাবে নির্ণয় করা দুঃসাধ্য। এইজন্য দোলকের দৈর্ঘ্য বেশি নেওয়াই বাঞ্ছনীয়। দৈর্ঘ্য বেশি, তাই উহা মিটার স্কেল দিয়া মাপিতে হয়। মিটার স্কেল হইতে দৈর্ঘ্য 1 মিলিমিটারের অধিক সঠিকভাবে মাপা যায় না। অতএব ববের খাড়া ব্যাস মাপিবার সময় স্লাইড ক্যালিপারে ভার্নিয়ার ঘরের পাঠ নেওয়া অর্থহীন হইবে। এরূপ করিতে গেলে শুধু শুধু সময় নষ্ট হইবে মাত্র।

(২) $g=\frac{4\pi^2 \times L}{T^2}$। অতএব উপরোক্ত পরীক্ষার সাহায্যে g সঠিকভাবে বাহির করিতে হইলে L অপেক্ষা T (T^2 আছে বলিয়া) অনেক বেশি সঠিকভাবে নির্ণয় করিতে হইবে।

(৩) ঘড়ি সঠিক মুহূর্তে চালাইতে ও থামাইতে হইবে। এই ব্যাপারেই ব্যক্তিগত ভুল হইবার আশঙ্কা বেশি। অনেকগুলি দোলনের মোট সময় নির্ণয় করা হয় বলিয়া এবং অন্ততঃ তিন বার সময় মাপা হয় বলিয়া এই ভুলের পরিমাণ কমিয়া যায়। দোলনের সংখ্যা বেশি নিলে দোলনকাল আরও সঠিকভাবে বাহির করা সম্ভব। কিন্তু সেক্ষেত্রে দোলনসংখ্যা গণনায় ভুল হইবার সম্ভাবনা থাকে। এই উভয় বিষয়ই বিবেচ্য বলিয়া একটি মাঝারি রকম ব্যবস্থা হিসাবে 20টি দোলনের সময় নেওয়ার কথা বলা হইয়াছে। এই দোলনসংখ্যা খুব বেশিও নয়, খুব কমও নয়।

(৪) দোলকের দৈর্ঘ্য খুব কম নিলে (যথা 10 বা 20 সেন্টিমিটার এইরূপ), মাত্র 20টি দোলনের সময় মাপিয়া পরীক্ষাকার্য করিলে ফলের শতকরা ভুল বেশি হইবে। এক্ষেত্রে বেশিসংখ্যক দোলনের সময় মাপা আবশ্যক। এই সংখ্যা গুণিতে ভুল হইতে পারে তাই বিকল্প ব্যবস্থা হিসাবে দোলকটি বেশি দৈর্ঘ্যের নিয়া কাজ করা হয়।

১০১। **সেকেণ্ড দোলক (Seconds Pendulum) :**—যে দোলকের একটি **স্পন্দনে** (vibration) এক সেকেণ্ড লাগে, বা একটি পূর্ণ দোলনে (oscillation) দুই সেকেণ্ড লাগে, তাহাকে 'সেকেণ্ড দোলক' বলা হয়, অর্থাৎ সেকেণ্ড-দোলকের দোলনকাল (time-period) হইল 2 সেকেণ্ড।

যদি বলা হয় যে 'একটি দোলক সেকেণ্ড স্পন্দিত করে' (a pendulum beats seconds) তাহা হইলে বুঝিতে হইবে যে, ইহার একটি স্পন্দনে এক সেকেণ্ড সময় লাগে। সাধারণ ক্লক্ ঘড়িতে এইরূপ সেকেণ্ড দোলকই ব্যবহৃত হয়।

(ক) সেকেণ্ড দোলকের দৈর্ঘ্য।—

দোলকের কার্যনীতির সাধারণ সংকেতসূত্র হইল, $T=2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$।

সেকেণ্ড দোলকের ক্ষেত্রে, $T=2$ সেকেণ্ড বলিয়া,

$2=2\pi\sqrt{\frac{L_s}{g}}$ (L_s সেকেণ্ড দোলকের দৈর্ঘ্য); বা, $1=\pi\sqrt{\frac{L_s}{g}}$

বা, $L_s=\frac{g}{\pi^2}$।

অতএব, সেকেণ্ড দোলকের দৈর্ঘ্য, অভিকর্ষজাত ত্বরণের সঙ্গে বদলায়, অর্থাৎ বিভিন্ন স্থানে বিভিন্ন হয়।

দ্রষ্টব্য : কোন স্থানে সেকেণ্ড দোলকের দৈর্ঘ্য বাহির করিতে হইলে, প্রথমে অনুচ্ছেদ ১০০-তে বর্ণিত উপায়ে $L-T^2$ লেখ আঁক। উক্ত লেখ লইতে $T^2=4$ ($\because T=2$) হইলে দৈর্ঘ্য কত হইবে বাহির কর। উহাই নির্ণেয় দৈর্ঘ্য L_s। $L-T$ লেখ হইতে L_s বাহির করিতে হইলে, T-র মান 2 সেকেণ্ড লইবে।

১০২। **সরল দোলকের সাহায্যে g-র মান নির্ণয় করা :—** $T=2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ বলিয়া, $g=4\pi^2\frac{L}{T^2}$; L-T^2 লেখ হইতে সুবিধামত দৈর্ঘ্য L ও লেখ-অনুযায়ী ঐ দৈর্ঘ্যের জন্য T^2-এর মান কত দেখ। তাহা হইতে L/T^2-এর মান এবং L/T^2-কে $4\pi^2$ দিয়া গুণ করিলে g-র মান জানা যাইবে।

L এবং T^2-এর মান সরাসরি না লইয়া লেখ হইতে L/T^2 বাহির করার কারণ কি? কারণ, কোন একটি L-এর জন্য কোন কারণে T-র মানে ভুল থাকিতে পারে। L-T^2 লেখ আঁকা হয় কয়েকটি L ও প্রত্যেক L-এর জন্য প্রাপ্ত Tর সাহায্যে। এই বিভিন্ন বিন্দুগুলি পরীক্ষাগত ভুলের জন্য একেবারে সঠিক নাও হইতে পারে। লেখটি (সরলরেখা) টানা হয় বিন্দুগুলির মধ্য দিয়া গড় রেখা (**mean curve**) রূপে। এই গড় রেখাটি হয়তো কয়েকটি বিন্দুর মধ্য দিয়া চলিয়া যায়, বাকিগুলি ডাইনে-বামে (বা উপরে-নীচে) থাকে। এইরূপ গড় লেখ হইতে L এবং T^2-এর মান নেওয়া হইলে সর্বাপেক্ষা সমীচিন কাজ করা হইবে, কারণ কোন একটি পাঠের স্বতন্ত্র সম্ভাব্য অধিক ভুল ইহাতে থাকিবে না।

সাধারণভাবে g-র মান বাহির করিতে তিন-চারিটি বিভিন্ন দৈর্ঘ্যে দোলনকাল T পরীক্ষার দ্বারা নির্ণয় করিয়া প্রতিক্ষেত্রে L/T^2-এর মান কষিয়া উহাদের গাণিতিক গড়মানকে $4\pi^2$ দ্বারা গুণ করিলেই চলে।

Examples

1. *Find the length of a seconds pendulum at a place where $g=981$ cm./sec.^{2} ?*

উত্তর ঃ $T=2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$; এখানে, $T=2$ সেকেণ্ড ; $g=981$ সি. জি. এস্. একক।

অতএব, $L=\frac{g}{\pi^2}=\frac{981}{(3\cdot14)^2}=99\cdot5$ সেন্টিমিটার।

2. *In an experiment with a simple pendulum, the value of L/T^2 obtained is 24·78. Calculate the value of the acceleration due to gravity at the place.*

উত্তর : $g=4\pi^2\times\frac{L}{T^2}=4(3\cdot14)^2\times24\cdot78=977\cdot32$ সেন্টিমিটার, প্রতি বর্গ সেকেণ্ডে।

3. *A pendulum beats seconds at a place where g is 980 cm./sec.^{2} How would its length have to be changed in order that it may beat seconds at a place where g is 340 cm./sec^2. ?*

উত্তর ঃ প্রথম স্থানে দৈর্ঘ্য L_1 ও দ্বিতীয় স্থানে দৈর্ঘ্য L_2 মনে কর।

$T=2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$, সম্পর্ক অনুযায়ী, $2=2\pi\sqrt{\frac{L_1}{980}}$ এবং $2=2\pi\sqrt{\frac{L_2}{340}}$।

সুতরাং, $\sqrt{\frac{L_1}{980}}=\sqrt{\frac{L_2}{340}}$; বা, $\frac{L_2}{L_1}=\frac{340}{980}=\frac{17}{49}$; বা, $L_2=\frac{17}{49}\times L_1$।

অতএব দ্বিতীয় স্থানে দৈর্ঘ্যকে কমাইয়া প্রথম স্থানের দৈর্ঘ্যের $\frac{17}{49}$ ভাগ করিতে হইবে।

Exercises

1. What is a simple pendulum ? How would you actually set it up ? Explain the terms, (a) effective length, (b) period, and (c) amplitude.

2. Why should a large number of oscillations be taken in determining the period of a pendulum ? Indicate graphically how the period varies with length of a pendulum.

3. What is a seconds pendulum ? How can you determine the length of a seconds pendulum at your place ?

4. Do you think that

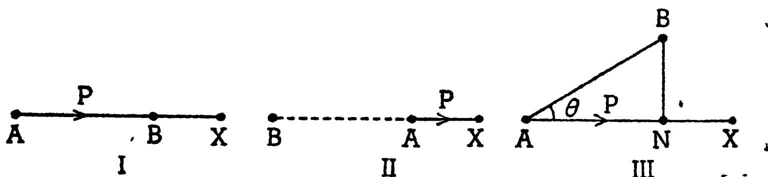
(a) the period of a given simple pendulum will change if it is taken from Calcutta to Darjeeling ?

(b) the period of the given pendulum will change if a lighter bob is used keeping the effective length same ?

কার্য : ক্ষমতা : শক্তি

(Work : Power : Energy)

১০৩। **কার্য (Work) :**—প্রযুক্ত বলের দিকে কোন বস্তু সরিলে ঐ বলটি বস্তুটির উপর কার্য করিতেছে বলা হয়। বস্তুটি প্রযুক্ত বলের বিপরীত দিকে চলিলে, বলের বিরুদ্ধে কার্য করা হইতেছে বলা হয়। কার্যের পরিমাণ সর্বদাই প্রযুক্ত বল ও ঐ বলের দিক বরাবর সরণের গুণফলের সমান হয়। প্রযুক্ত বল কোন একটি সম্পূর্ণ বল বা উহার অংশ মাত্র হইতে পারে।



চিত্র ৬১

চিত্র ৬১-তে, বলের প্রয়োগ বিভিন্নভাবে হইলে কার্যের তারতম্য কি হয় তিনটি বিভিন্ন দৃষ্টান্ত দ্বারা তাহা বুঝান হইয়াছে—

(I) এক্ষেত্রে P মানের বল A বিন্দুতে কোন বস্তুর উপর ক্রিয়া করিতেছে, কিন্তু নির্দিষ্ট সময়ে বলের প্রয়োগ বিন্দু A হইতে বলের দিক AX সরলরেখা ধরিয়া B বিন্দুতে সরিয়া আসিয়াছে। P বলের সবটাই এখানে বস্তুটির উপর কাজ করিতেছে। A হইতে B দূরত্বকে AB বলা হইলে কার্যের পরিমাণ (W) পাওয়া যাইবে, $W = P \times AB$ হইতে। এইরূপ কার্যকে <u>ধনাত্মক কার্য</u> বলে।

(II) এক্ষেত্রে P মানের বল A বিন্দুতে কোন বস্তুর উপর ক্রিয়া করিতেছে কিন্তু নির্দিষ্ট সময়ে বলের প্রয়োগ বিন্দু A হইতে বলের দিক AX-এর বিপরীত দিকে সরিয়া B বিন্দুতে আসিয়াছে। এখানে বলের বিরুদ্ধে কার্য করা হইতেছে। কার্য, $W=(-AB)\times P$। এইরূপ কার্যকে ঋণাত্মক কার্য বলে। (Negative)

উপরের দৃষ্টান্তগুলির প্রথমটিতে সমগ্র বলই কার্য করিতেছে, দ্বিতীয়টিতে সমগ্র বলের বিরুদ্ধে কার্য করা হইতেছে।

(III) এক্ষেত্রে বলটি কার্য করিতেছে A হইতে X-এর দিকে, আর বলের অধীন বস্তুটির সরণ হইতেছে AB সরলরেখা ধরিয়া A হইতে B পর্যন্ত। AB ও AX রেখাদ্বয়ের মধ্যে কোণ হইল $\angle\theta$। B হইতে AX-এর উপর লম্ব (BN) টানো। সরণ AB হইলে, বলের দিকে সরণ হইবে ABর বিযোজিত অংশ AN.

কার্য, $W=P\times AN$; কিন্তু, $AN=AB\cos\theta$। $\therefore$ কার্য, $W=P\times AB\cos\theta$ ... ... (১)

= বল × বলের দিকে সরণের বিযোজিত অংশ।

বিকল্পে বলা যায়, কার্য $W=AB\times P\cos\theta$ ... ... (২)

= প্রকৃত সরণ × সরণের দিকে বলের বিযোজিত অংশ।

দ্রষ্টব্য : $\theta=90^\circ$ হইলে, $W=P\times AB\cos\theta=P\times AB\times 0=0$, হইবে, অর্থাৎ, বলের লম্ব দিকে সরণ হইলে ইহাতে ঐ বল কোন কার্য করে না, বা ইহাতে ঐ বলের বিরুদ্ধে কোন কার্য করা হয় না।

১০৪। **কার্যের একক :—কোন** বস্তুর উপর এক একক পরিমাণ বল প্রযুক্ত হইলে বস্তুটির সরণ যদি এক একক পরিমাণ হয় তবে এক একক পরিমাণ কার্য হইবে। প্রযুক্ত একক বল এক পরম একক বল হইলে এক পরম একক কার্য হইবে। ঐ একক বল অভিকর্ষ এককের বল হইলে এক অভিকর্ষ এককের কার্য পাওয়া যাইবে।

কার্যের পরম একক

(ক) সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে.—

প্রযুক্ত বল এক ডাইন হইলে এবং যদি বলের দিকে বলের প্রয়োগ বিন্দুর সরণ হয় এক সেন্টিমিটার, তবে সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে এক পরম একক কার্য হয়। অতএব এক সি. জি. এস্. পরম একক কার্য = 1 ডাইন × 1 সেন্টিমিটার = 1 ডাইন-সেন্টিমিটার। 1 ডাইন-সেন্টিমিটারের অপর নাম এক আর্গ (1 erg)। আর্গ

একটি অত্যন্ত ছোট একক। ইহা অপেক্ষা বড় একক হইল এক জুল (1 Joule)। জুল একটি ব্যবহারিক একক। 1 জুল $=10^7$ আর্গ।

(খ) এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে।—

প্রযুক্ত বল এক পাউণ্ড্যাল হইলে এবং বলের দিকে যদি বলের প্রয়োগ বিন্দুর সরণ হয় এক ফুট, তবে এই পদ্ধতিতে এক পরম একক কার্য হইবে। অর্থাৎ, এফ. পি. এস্. পরম একক কার্য = এক ফুট × এক পাউণ্ড্যাল্ = এক ফুট-পাউণ্ড্যাল্।

ফুট-পাউণ্ড্যাল্ ও আর্গের পারস্পরিক সম্পর্ক—

1 ফুট-পাউণ্ড্যাল্ = 1 ফুট × 1 পাউণ্ড্যাল্

= 30·48 সেন্টিমিটার × (1 পাউণ্ড × 1 ফুট, প্রতি বর্গ-সেকেণ্ডে)

= 30·48 সে.মি. × (453·6 গ্রাম × 30·48 সেন্টিমিটার, প্রতি বর্গ-সেকেণ্ডে)

= 30·48 সে.মি. × (453·6 × 30·48) ডাইন

= (30·48 × 453·6 × 30·48) ডাইন-সে.মি. (বা আর্গ)

= $4{\cdot}214 \times 10^5$ আর্গ।

অতএব এক ফুট-পাউণ্ড্যাল্ এক আর্গ অপেক্ষা একটি অনেক বড় একক।

কার্যের অভিকর্ষ একক

(ক) সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে।—

এক গ্রাম ভরকে খাড়াভাবে এক সেন্টিমিটার উপরের দিকে তুলিতে যে কার্য করিতে হয়, ঐ পরিমাণ কার্যকে এক অভিকর্ষ একক কার্য বলে। ইহাকে সংক্ষেপতঃ 1 গ্রাম-সেন্টিমিটার কার্য বলে; তবেই, 1 গ্রাম-সেন্টিমিটার কার্য হইল এক সি. জি. এস্. অভিকর্ষ একক কার্য। এই এককটি ছোট বলিয়া 1 কিলোগ্রাম-মিটার কার্যকে এক অভিকর্ষ একক হিসাবে ব্যবহার করা হয়। 1 কিলোগ্রাম-মিটার $= 1000 \times 100 = 10^5$ গ্রাম-সেন্টিমিটার।

(খ) এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে।—

এক পাউণ্ড ভরকে এক ফুট খাড়াভাবে উপরে তুলিতে যে কার্য করিতে হয়, উহাই এই পদ্ধতিতে এক অভিকর্ষ একক কার্য। ইহার সংক্ষিপ্ত নাম 1 ফুট-পাউণ্ড।

মন্তব্য ঃ অনুচ্ছেদ ৯৪-এ দেখিয়াছ যে, সি. জি. এস্. এবং এফ্. পি. এস্. উভয় পদ্ধতিতেই, বলের অভিকর্ষ একক = বলের পরম একক × g।

এতএব, কার্যের অভিকর্ষ একক = কার্যের পরম একক × g হইবে ; কারণ, সরণের একক, পরম এবং অভিকর্ষ এককে, একই।

অতএব, 1 ফুট-পাউণ্ড = 1 ফুট-পাউণ্ড্যাল্ × 32·2 = 32·2 × (4·214 × 10^5) আর্গ, (∵ 1 ফুট-পাউণ্ড্যাল্ = 4·214 × 10^5 আর্গ) = 1·3569 × 10^7 আর্গ = 1·3569 জুল।

দ্রষ্টব্য ঃ 1 ফুট-পাউণ্ড কার্যের মান, g-র মানের উপর নির্ভর করে বলিয়া, নিত্য ধ্রুব নয়। ভিন্ন ভিন্ন স্থানে ইহার মান ভিন্ন ভিন্ন হইবে।

১০৫। **ক্ষমতা** (Power) :—কার্যের হারকে কর্তার ক্ষমতা (power) বলা হয়। একক সময়ে যে কার্য করা হয় উহাই কর্তার (agent) কার্যের হার বা ক্ষমতা। বেশী সময় ব্যাপিয়া কার্য করা হইলে, গড় ক্ষমতা = ঐ সময়ে করা কার্যের পরিমাণ ÷ সময়। একক সময়ে কার্যের পরিমাণ সর্বদা এক না হইলে, গড় ক্ষমতা বাহির করার দরকার হয়।

• t সময়ে w কার্য করা হইয়া থাকিলে, গড় ক্ষমতা, $p = \frac{w}{t}$।

১০৬। ক্ষমতার একক ঃ—

(ক) ক্ষমতার পরম একক = কার্যের পরম একক ÷ সময়ের একক।

সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে—

ক্ষমতার পরম একক = 1 আর্গ ÷ 1 সেকেণ্ড = 1 আর্গ, প্রতি সেকেণ্ডে।

এক আর্গ, প্রতি সেকেণ্ডে, হইতে বড় একক হইল, 1 জুল, প্রতি সেকেণ্ডে। ইহা ক্ষমতার একটি ব্যবহারিক একক। 1 জুল, প্রতি সেকেণ্ডে—এই এককের অপর এক নাম আছে। ইহাকে 1 ওয়াট (watt) বলে।

1 ওয়াট = 1 জুল, প্রতি সেকেণ্ডে = 10^7 আর্গ, প্রতি সেকেণ্ডে।

এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে—

ক্ষমতার পরম একক = 1 ফুট-পাউণ্ড্যাল্, প্রতি সেকেণ্ডে।

(খ) ক্ষমতার অভিকর্ষ একক = কার্যের অভিকর্ষ একক ÷ সময়ের একক।

সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে—

ক্ষমতার অভিকর্ষ একক = 1 গ্রাম-সেন্টিমিটার ÷ 1 সেকেণ্ড

= 1 গ্রাম-সেন্টিমিটার, প্রতি সেকেণ্ডে।

ইহা অপেক্ষা বড় একক হইল, 1 কিলোগ্রাম-মিটার, প্রতি সেকেণ্ডে। এই পদ্ধতিতে ইহা একটি ব্যবহারিক একক।

এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে—

ক্ষমতার অভিকর্ষ একক = 1 ফুট-পাউণ্ড, প্রতি সেকেণ্ডে।

এই পদ্ধতিতে, ক্ষমতার ব্যবহারিক অভিকর্ষ একক = 1 অশ্বশক্তি (horse power)। এটি একটি খুব প্রয়োজনীয় একক। ইঞ্জিনিয়ারিং কাজকর্মে যান্ত্রিক ক্ষমতার জন্য এই এককটি ব্যাপকভাবে ব্যবহৃত হয়।

1 অশ্বশক্তি = 550 ফুট-পাউণ্ড, প্রতি সেকেণ্ডে

= 550 × 60 ফুট-পাউণ্ড, প্রতি মিনিটে

= 33,000 ফুট-পাউণ্ড, প্রতি মিনিটে।

স্কট্‌ল্যাণ্ডের জেমস্ ওয়াট যান্ত্রিক ক্ষমতা ব্যক্ত করার জন্য অশ্বশক্তির একক প্রথমতঃ ব্যবহার করেন। তাঁহার হিসাবে একটি অশ্ব গড়ে 33,000 ফুট-পাউণ্ড, প্রতি মিনিটে, ক্ষমতার অধিকারী। তিনি দেখিলেন যে, একটি অশ্ব 150 পাউণ্ড কয়লা খনি হইতে প্রতি মিনিটে যতটা উপরে তুলিতে পারে তার খাড়া উচ্চতা 220 ফুট। অর্থাৎ একটি অশ্বের ক্ষমতা = 150 × 220 ফুট-পাউণ্ড, প্রতি মিনিটে = 33,000 ফুট-পাউণ্ড, প্রতি মিনিটে। অশ্বশক্তির সহিত বর্তমানকালের একটি অশ্বের ক্ষমতার ঐরূপ কোন ধ্রুব সম্পর্ক বস্তুতঃ নাই। তাই 1 অশ্বশক্তি ক্ষমতা কেবলমাত্র একটি একক হিসাবে গ্রহণ করিতে হইবে।

মনে রাখিও—

একটি ঘোড়ার গড় ক্ষমতা = $\frac{2}{3}$ অশ্বশক্তি (h.p.)।

একজন মানুষের গড় ক্ষমতা = $\frac{1}{7}$ অশ্বশক্তি।

একটি মোটর গাড়ীর ইঞ্জিনের ক্ষমতা = 6 হইতে 30 অশ্বশক্তি।

একটি জিপ গাড়ীর ইঞ্জিনের ক্ষমতা = 20 হইতে 80 অশ্বশক্তি।

একটি গ্যাস ইঞ্জিনের ক্ষমতা = $\frac{1}{2}$ হইতে 270 অশ্বশক্তি।

একখানি বড় যুদ্ধ জাহাজের ক্ষমতা = 120,000 অশ্বশক্তি।

তুলনামূলকভাবে একটি মোটামুটি ধারণা দেওয়ার জন্য ক্ষমতার এই দৃষ্টান্তগুলির উল্লেখ করা হইল। ক্ষমতার এইসব দৃষ্টান্ত সাধারণভাবে সত্য বটে, তবে প্রতিক্ষেত্রেই ব্যতিক্রমও আছে।

১০৭। কার্য (work) ও ক্ষমতার (power) পার্থক্য :—কার্য হইল বল ও বলের দিকে সরণের গুণফল। সময়ের সহিত ইহার কোন প্রত্যক্ষ সম্পর্ক নাই।

ক্ষমতা হইল কার্যের সময়-সম্পর্কিত হার বা এক সেকেণ্ডে করা কার্যের পরিমাণ। গড় ক্ষমতা = কার্য ÷ সময়; অথবা, কার্য = গড় ক্ষমতা × সময়।

1 ঘণ্টা ধরিয়া 1 অশ্বশক্তি ক্ষমতার অধিকারী কোন কর্তা (agent) কার্য করিলে, কার্যের মোট পরিমাণ হয় = 1 অশ্বশক্তি × 1 ঘণ্টা = 1 অশ্বশক্তি-ঘণ্টা, (horse-power-hour = 33,000 ফুট-পাউণ্ড, প্রতি মিনিটে × 1 ঘণ্টা = 33,000 ফুট-পাউণ্ড, প্রতি মিনিটে × 60 মিনিট = 198×10^4 ফুট-পাউণ্ড)।

১০৮। **শক্তি (Energy):**—এখানে কেবল যান্ত্রিক শক্তি (mechanical energy) সম্বন্ধেই বলা হইবে। কোন বস্তু উহার বর্তমান অবস্থাধীনে মোট যে কার্য করিতে সক্ষম তাহা দ্বারাই বস্তুটির যান্ত্রিক শক্তি মাপা হয়। বস্তুর বর্তমান অবস্থা বলিতে উহার অবস্থান (position), বা পরিবর্তিত রূপ (configuration), বা গতির অবস্থা (state of motion) বুঝায়। পৃথিবী হইতে যত বেশি উচ্চে একটি বস্তু অবস্থিত থাকিবে উহার কার্য করার শক্তি তত বেশী হইবে। কেন-না, কোন অবস্থান হইতে নিম্নে পতনদ্বারা যে কার্য উৎপাদন করা যায় তাহা অবস্থানের উচ্চতার উপর নির্ভর করে। কোন বস্তুর স্বরূপ পরিবর্তিত অবস্থায় থাকিলে ঐ জন্য উহার কিছুটা শক্তি থাকে। এই শক্তির প্রমাণ এই যে, পুনরায় স্বাভাবিক স্বরূপে ফিরিয়া আসা পর্যন্ত উহা কিছুটা কার্য সম্পাদন করিতে পারে। অবস্থান বা স্বরূপ জনিত শক্তিকে বস্তুর স্থিতিশক্তি (potential energy) বলে। আবার, একটি বস্তু চলন্ত অবস্থায় থাকিলে উহার কিছু শক্তি থাকে, কারণ দেখা যায় যে উহা না থামা পর্যন্ত কিছু কার্য করিতে পারে। গতিজনিত এইরূপ শক্তিকে বস্তুর গতিশক্তি (kinetic energy) বলে। একটি গতিশীল বস্তু না থামা পর্যন্ত যে পরিমাণ করিতে পারে তাহাই বস্তুটির গতিশক্তির (kinetic energy) পরিমাণ। যান্ত্রিক শক্তি উপরে বর্ণিত দুই রকমেরই হইতে পারে—যথা, স্থিতিশক্তি ও গতিশক্তি। বস্তু মাত্রেরই মোট যান্ত্রিক শক্তি উহার স্থিতিশক্তি ও গতিশক্তির যোগফলের সমান।

স্থিতিশক্তির উদাহরণ—জলপ্রপাতের জল পাহাড়ের উপর হইতে নীচে পড়ে এবং ঐ পড়ন্ত জলের অবস্থান পরিবর্তন হইতে উদ্ভূত শক্তির দ্বারা কার্য করা যায়। তাই বলিতে হয় যে, পাহাড়ের উপরের জলের কিছু স্থিতিশক্তি আছে। আমাদের দেশে বহু নদী-উপত্যকা পরিকল্পনায় উচ্চ বৃহৎ বাঁধে আটকানো জল নিয়মিতভাবে পড়িতে দিয়া বাঁধের নীচে বসানো টারবাইন ঘুরাইয়া বিপুল যান্ত্রিক শক্তি (এবং তাহা হইতে বিদ্যুৎশক্তি) উৎপন্ন করার ব্যবস্থা করা হইয়াছে। জলের এই শক্তিকে জলশক্তি (hydro-electric or hydel power) বলা হয়। দম্-দেওয়া স্প্রিং-এর প্যাচ ধীরে ধীরে খুলিলে স্প্রিং-এর স্বরূপ পরিবর্তিত অবস্থা

হইতে স্বাভাবিক অবস্থায় ফিরিয়া আসা পর্যন্ত ইহা যে শক্তি যোগান দিতে পারে তাহা দ্বারা ঘড়ির কাঁটাগুলি চলে।

গতিশক্তির উদাহরণ—চলমান নদী, নিক্ষিপ্ত বুলেট, ঘূর্ণায়মান ফ্লাই-হুইল, প্রভৃতির আপন আপন গতির জন্য গতিশক্তি আছে। চলমান নদী ইহার গতিশক্তির দ্বারা একখানি নৌকাকে সহজেই ঠেলিয়া লইয়া যাইতে পারে। নিক্ষিপ্ত বুলেট ইহার গতিশক্তির দ্বারা লক্ষ্য ভেদ করিয়া যায়। ঘূর্ণায়মান ফ্লাই-হুইলের গতিশক্তি ইঞ্জিন থামাইয়া দিলেও কিছুক্ষণ গাড়ী চালু রাখিতে পারে।

১০৯। স্থিতিশক্তি ও গতিশক্তির আরও কয়েকটি দৃষ্টান্ত :—

(ক) স্থিতিশক্তি—(১) অবস্থানের জন্য (due to position).—পৌর জল সরবরাহ ব্যবস্থায় উচ্চে স্থাপিত জলাধারে রক্ষিত জল, পর্বতের চূড়ার বরফ, আকাশের মেঘের জল, ইত্যাদি।

(২) পরিবর্তিত রূপের জন্য (due to configuration)—গ্রামোফোনের দম-দেওয়া স্প্রিং, জ্যা-আরোপিত ধনু, সংনমিত (compressed) বায়ু, ইত্যাদি।

(খ) গতিশক্তি.—দুদোল্যমান দোলক, নিক্ষিপ্ত তীর, ঘূর্ণিবাত্যা, চলন্ত বাস, বিস্ফোরিত বোমার উড়ন্ত টুকরা, ইত্যাদি।

দ্রষ্টব্য : ক্ষমতা (power) ও শক্তির (energy) পার্থক্য সম্বন্ধে অবহিত হওয়া বিশেষ প্রয়োজন। বাংলাভাষায় ইহারা প্রায় সমার্থক বলিয়া বিভ্রান্তি হওয়া খুব স্বাভাবিক। কোন বস্তু এক বিশেষ অবস্থায় মোট যে কার্য করিতে পারে তাহাই উহার শক্তির পরিমাপ। শক্তির সহিত সময়ের কোন প্রত্যক্ষ সম্পর্ক নাই। অন্য দিকে, ক্ষমতা হইল একক সময়ে সম্পন্ন কার্যের পরিমাণ। ইহা সময়ের সহিত ঘনিষ্ঠভাবে যুক্ত। বস্তু মোট কত কার্য করিতে পারে না-পারে তাহার সহিত ক্ষমতার কোন সম্পর্ক নাই।

১১০। যান্ত্রিক শক্তির পরিমাপ :—উচ্চতর শক্তির অবস্থা হইতে শক্তির কোন প্রামাণ্য অবস্থায় ফিরিয়া আসিতে কোন বস্তু মোট যত কার্য করে তাহাই হইল বস্তুটির যান্ত্রিক শক্তির পরিমাণ। ইহা মাপিবার উপায় কি?

পূর্বেই বলা হইয়াছে যে, বস্তুর স্থিতিশক্তি বলিতে অবস্থানের জন্য উহার শক্তি থাকিতে পারে। পৃথিবীপৃষ্ঠ হইতে উঁচুতে তুলিলে কোন বস্তু উহার ঐ অবস্থানের জন্য বেশী স্থিতিশক্তি লাভ করে। উত্তোলিত বস্তুর বেলায় ভূ-পৃষ্ঠের অবস্থানই বস্তুর শক্তির প্রামাণ্য অবস্থান ধরা হয়।

পেঁচানো স্প্রিং-এর স্থিতিশক্তি ইহার পরিবর্তিত রূপের জন্য হয়। এখানে স্প্রিংটির না-পেঁচানো স্বাভাবিক অবস্থাই উহার শক্তির প্রামাণ্য অবস্থা ধরা হয়।

গতিশক্তির ক্ষেত্রে গতিশূন্য অবস্থাই বস্তুর শক্তির প্রামাণ্য অবস্থা ধরা হয়।

(ক) উচ্চে অবস্থিত বস্তুর স্থিতিশক্তি (**Potential energy of a raised body**).—মনে কর, m একটি বস্তুর ভর, g অভিকর্ষজাত ত্বরণ ও h হইল ভূ-পৃষ্ঠ (স্থিতিশক্তির ক্ষেত্রে শক্তির প্রামাণ্য অবস্থা) হইতে বস্তুটির উচ্চতা।

বস্তুর স্থিতিশক্তি (Potential Energy বা $P.E.$)$=h$ উচ্চতায় বস্তুটিকে তুলিতে যত কার্য করিতে হয়।

$=$ বিরুদ্ধ অভিকর্ষ বল $\times$ খাড়া উপর দিকে সরণ (বা উচ্চতা, h)

$$= mg \times h = mgh \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (১)$$

(১) m গ্রামে, g সেন্টিমিটার, প্রতি বর্গ-সেকেণ্ডে, এবং h সেন্টিমিটারে হইলে—

$P.E.=$ স্থিতিশক্তি $=mgh$ আর্গ $=mh$ গ্রাম-সেন্টিমিটার।

(২) m পাউণ্ডে, g ফুট, প্রতি বর্গ-সেকেণ্ডে, এবং h ফুটে, হইলে—

$P.E.=$ স্থিতিশক্তি $=mgh$ ফুট-পাউণ্ড্যাল্ $=mh$ ফুট-পাউণ্ড।

(খ) চলমান বস্তুর গতিশক্তি (বা চলশক্তি) (**Kinetic Energy or K.E. of a moving body**).—

বস্তুর গতিশক্তি উহার গতির কারণেই। থামা পর্যন্ত গতিশীল বস্তু যতটা কার্য করিবে ততটা ইহার গতিশক্তি। মনে করা যাক্ যে, m ভরের একটি বস্তু v গতিবেগে চলিতেছে। এখন P বিরুদ্ধ বল প্রয়োগ করায় ইহার গতি মন্দিত হইল ও s পথ গিয়া বস্তুটি থামিয়া গেল।

গতির সমীকরণ অনুযায়ী, $v^2=u^2+2fs$।

এখানে প্রারম্ভিক গতিবেগ $u=v$, চূড়ান্ত গতিবেগ, $v=0$ এবং f মন্দন বলিয়া $f=-f$ ধরিতে হইবে। অতএব,

$$0^2=v^2-2fs\text{; বা, } fs=\tfrac{1}{2}v^2 \text{।}$$

কিন্তু $P=mf$ সংকেত সমীকরণ অনুযায়ী, $f=\dfrac{P}{m}$।

$$\therefore \quad fs=\frac{Ps}{m}=\tfrac{1}{2}v^2 \text{ : বা, } Ps=\tfrac{1}{2}mv^2 \text{।}$$

P হইল বল এবং s-বলের বিপরীত দিকে সরণ। তাই, $Ps=$ কার্যের পরিমাণ।

সুতরাং, গতিশক্তি (বা চলশক্তি) $=K.E.=$ কার্য $=Ps=\frac{1}{2}mv^2 \quad \cdots \quad \cdots \quad (২)$

অতএব, গতিশক্তি $= K.E. = \frac{1}{2}$ (ভরের পরিমাণ) × (গতিবেগের বর্গ)। পদার্থবিজ্ঞানে ইহা একটি গুরুত্বপূর্ণ সংকেতসূত্র।

(১) m গ্রামে এবং v সেন্টিমিটার প্রতি সেকেণ্ডে, হইলে—

গতিশক্তি $= K.E. = \frac{1}{2}mv^2$ আর্গ।

[গ্রাম $\times \frac{(\text{সে. মি.})^2}{(\text{সেকেণ্ড})^2} = \left(\text{গ্রাম} \times \frac{\text{সে.মি.}}{\text{সেকেণ্ড}^2}\right) \times$ সে.মি. = ডাইন × সে.মি. = আর্গ]

অথবা $K.E. = \frac{1}{2}mv^2/g$ গ্রাম-সেন্টিমিটার (g সে.মি., প্রতি বর্গ-সেকেণ্ডে)

(২) m পাউণ্ডে ও v ফুট, প্রতি সেকেণ্ডে, হইলে—

গতিশক্তি $= K.E = \frac{1}{2}\ mv^2$ ফুট-পাউণ্ড্যাল্।

[পাউণ্ড $\times \frac{\text{ফুট}^2}{\text{সেকেণ্ড}^2} = \left(\text{পাউণ্ড} \times \frac{\text{ফুট}}{\text{সেকেণ্ড}^2}\right) \times$ ফুট = পাউণ্ড্যাল্ × ফুট = ফুট-পাউণ্ড্যাল্]

অথবা গতিশক্তি $= K.E. = \frac{1}{2}mv^2/g$ ফুট-পাউণ্ড (g ফুট, প্রতি বর্গ-সেকেণ্ডে)।

১১১। স্থিতিশক্তি ও সাম্যের (Equilibrium) অবস্থা :—অনুচ্ছেদ ৯০-এ বলা হইয়াছে যে সাম্য সুস্থির: হইলে ভারকেন্দ্র নিম্নতম অবস্থানে থাকিবে। এখন ইহার ব্যাখ্যা দেওয়া যায়। সুস্থির: অবস্থা হইল সর্বাপেক্ষা কম শক্তির অবস্থা। সুস্থির সাম্যের অবস্থায় গতিশক্তি শূন্য ($v=0$ বলিয়া)। স্থিতিশক্তি সর্বাপেক্ষা কম হইতে হইলে, mgh সর্বাপেক্ষা কম হইতে হইবে ; m ও g অপরিবর্তনীয় বলিয়া h কাজে কাজেই সর্বাপেক্ষা কম হইবে। h কম হওয়ার অর্থ বস্তুটির ভারকেন্দ্র সর্বাপেক্ষা নীচে থাকিবে। সুস্থির সাম্যের বেলায় ব্যাঘাত ঘটিলে বস্তুর ভারকেন্দ্র একটু উপরে ওঠে। বস্তুটির স্বল্পতম শক্তির অবস্থায় ফিরিয়া আসিতে চায় বলিয়া ভারকেন্দ্র নীচে নামিয়া আসে, এবং সুস্থির সাম্য পুনঃপ্রতিষ্ঠিত হয়।

অস্থির সাম্যে বস্তুটির ভারকেন্দ্র উহার নিম্নতম বিন্দুর অনেক উপরে থাকে এবং ফলে উহার যথেষ্ট স্থিতিশক্তি থাকে। এইজন্য ইহার সাম্যে ব্যাঘাত ঘটিলে ইহা পুরাতন সাম্যের অবস্থায় ফিরিয়া না আসিয়া স্বল্পতম স্থিতিশক্তির অবস্থায় যাইতে চায়। ফলে পূর্বের সাম্য নষ্ট হয়।

নিরপেক্ষ সাম্যে ব্যাঘাত ঘটিলে ভারকেন্দ্র উপরেও ওঠে না নীচেও নামে না, অর্থাৎ স্থিতিশক্তিতে পরিবর্তন আসে না।

১১২। স্থিতিশক্তি ও গতিশক্তির পারস্পরিক রূপান্তর এবং শক্তির সংরক্ষণ-সূত্র :—স্থিতিশক্তি গতিশক্তিতে বা গতিশক্তি স্থিতিশক্তিতে রূপান্তরিত

হইতে পারে। এই রূপান্তর মনুষ্যসৃষ্ট বলের সাহায্যে হইতে পারে, আবার প্রাকৃতিক বলের সমাবেশেও ঘটিতে পারে।

স্থিতিশক্তির গতিশক্তিতে রূপান্তর—ঊর্ধ্বে উত্থিত কোন বস্তু উহার অবলম্বন হারাইলে নিম্ন দিকে পড়ে। পড়িতে পড়িতে ইহার স্থিতিশক্তি ক্রমেই গতিশক্তিতে রূপান্তরিত হইতে থাকে। ঘড়ির স্প্রিং পেঁচান হইলে ইহাতে স্থিতিশক্তি সঞ্চিত হয়। প্যাঁচ ধীরে ধীরে খুলিয়া এই স্থিতিশক্তি নিরবচ্ছিন্নভাবে ব্যাল্যান্স হুইলের (balance wheel) গতিশক্তিতে রূপান্তরিত হইতে থাকে। স্প্রিং-খাটানো বন্দুকের স্প্রিংয়ের স্থিতিশক্তি, ঘোড়া টিপিলে বুলেটের গতিশক্তিতে রূপান্তরিত হয়।

গতিশক্তির স্থিতিশক্তিতে রূপান্তর—একখণ্ড প্রস্তর ঊর্ধ্বে নিক্ষেপ করা হইলে ইহার গতিশক্তি স্থিতিশক্তিতে রূপান্তরিত হইতে থাকে। সর্বোচ্চ অবস্থানে ইহার গতিশক্তি পুরাপুরি স্থিতিশক্তিতে পর্যবসিত হয়। পাহাড়ের উপর অবস্থিত বা ছাদের উপরে অবস্থিত কোন বস্তুর স্থিতিশক্তি সমতলভূমিতে থাকাকালে উহার স্থিতিশক্তি অপেক্ষা বেশি এইজন্যই হয়। দোলক দুলিতে দুলিতে স্বাভাবিক খাড়া অবস্থানে আসিলে ইহার স্থিতিশক্তি শূন্য হয় (ইহার ভারকেন্দ্র নিম্নতম অবস্থানে আসে বলিয়া) ও গতিশক্তি সর্বাপেক্ষা বেশি হয়। এই অবস্থান হইতে প্রান্তীয় অবস্থানের দিকে যাইতে যাইতে গতিশক্তি ধীরে ধীরে স্থিতিশক্তিতে রূপান্তরিত হইতে থাকে। প্রান্তীয় অবস্থানে গতিশক্তি শূন্য, স্থিতিশক্তি সর্বাবস্থা হইতে বেশি।

গতিশক্তি হইতে স্থিতিশক্তি উৎপন্ন হউক বা স্থিতিশক্তি হইতে গতিশক্তি উৎপন্ন হউক, ঐ শক্তির আধারকে সর্বদা **শক্তির সংরক্ষণ-সূত্র** অবশ্যই মানিয়া চলিতে হয়। এই সূত্র অনুযায়ী, **বাহিরের সহিত সংযোগহীন যে-কোন সংস্থার অন্তর্গত বস্তুগুলির মোট শক্তির পরিমাণ সর্বদা ধ্রুব থাকিবে।** অতএব যতটুকু স্থিতি-শক্তি লয় পাইবে, ততটুকুই গতিশক্তি সৃষ্টি হইবে এবং যতটুকু গতিশক্তি লয় পাইবে, ততটুকুই স্থিতিশক্তির সৃষ্টি হইবে। তাই মনে রাখিবে, যান্ত্রিক শক্তিও শক্তির সাধারণ সংরক্ষণ-সূত্রের নিয়মাধীন।

যান্ত্রিক শক্তি সম্বন্ধে উপরোক্ত সংরক্ষণ সূত্রটি সুস্পষ্ট করিয়া লিখিলে এইরূপ হইবে—

"কোন বস্তু বা বস্তুসমূহের সংস্থা কতকগুলি সংরক্ষণশীল বলের প্রভাবে চালিত হইলে, উহার গতিশক্তি ও স্থিতিশক্তির যোগফল সর্বদা ধ্রুব থাকিবে।"

এখানে '**কতকগুলি সংরক্ষণশীল বল**' বলিতে কি বুঝায় তাহা ব্যাখ্যা করা

প্রয়োজন। কতকগুলি বল কোন বস্তুর উপর ক্রিয়া করিবার সময় যে পরিমাণ কার্য করে, তাহা যদি কেবল বস্তুটির প্রারম্ভিক ও চূড়ান্ত অবস্থানের উপর নির্ভর করে এবং মধ্যবর্তী অবস্থানগুলির প্রকৃতির উপর বা অন্তবর্তীকালীন সময়ে গতিবেগের মান বা দিকের উপর নির্ভর না করে, তাহা হইলে গতিবিদ্যার ভাষায় উহাদিগকে 'কতকগুলি সংরক্ষণশীল বল' আখ্যা দেওয়া হইয়া থাকে। অভিকর্ষের বল 'সংরক্ষণশীল বল'। এইজন্য কোন বস্তুর ভারকেও সংরক্ষণশীল বল বলা হয়।

কোন বস্তু অমসৃণ কোন তলের উপর দিয়া চলিলে ধীরে ধীরে ইহা থামিয়া যায়। ইহার কারণ এই যে, তলের সহিত ঘর্ষণ হইতে উৎপন্ন একটি বল বস্তুটির উপর উহার গতির বিপরীত দিকে ক্রিয়া করে। বস্তু থামিয়া থাকিলে ঘর্ষণবলের অস্তিত্ব থাকে না। বস্তু চলিতে থাকিলে, ঘর্ষণবল দেখা দেয়। ঘর্ষণের বল সংরক্ষণশীল নয়। কারণ ইহার মান চলার পথের প্রকৃতি ও গতিবেগের উপর নির্ভর করে। ঘর্ষণবলের অধীন কোন বস্তু বা বস্তু-সংস্থার গতিশক্তি ও স্থিতিশক্তির যোগফল ধ্রুব নহে, ইহা ক্রমেই কমিতে থাকে। এই নষ্ট শক্তি কোথায় যায়? **শক্তি-সংরক্ষণের বিশ্বসূত্র** (Universal Principle of Conservation of Energy) হইতে এই প্রশ্নের উত্তর পাওয়া যায়—

"শক্তি সৃষ্টিও করা যায় না ধ্বংসও করা যায় না, একরূপ হইতে এক বা ততোধিক অন্যরূপে পরিবর্তিত করা যায় মাত্র। বিশ্বের মোট শক্তির পরিমাণ ধ্রুব।"

~~অনুচ্ছেদ ৬ ও ৭-এ বলা হইয়াছে যে,~~ যান্ত্রিক শক্তি তাপশক্তি, শব্দশক্তি, আলোকশক্তি, চুম্বকশক্তি, বিদ্যুৎশক্তি ও রাসায়নিক শক্তিতে রূপান্তরিত হইতে পারে। অমসৃণ কোন তলের উপর দিয়া একটি গোলক গড়াইয়া গেলে নষ্ট গতিশক্তির অধিকাংশই তাপশক্তিতে ও কিছুটা শব্দশক্তিতে রূপান্তরিত হয়।

Exercises

1. A body falls under gravity and strikes the ground. Explain the nature of transformation of its energy. How does it obey the principle of conservation of energy?

2. A body of 100 gm. is droped from a height of 10 metres. Calculate the amount of kinetic energy gained by the body ($g = 980$ cm./sec.^{2}).

উত্তর : 98×10^6 আর্গ।

3. A shot travelling at the rate of 200 metres/sec. is just able to pierce a plank 4 inches thick. What velocity is required to pierce a plank 6 inches thick?

উত্তর : $200\sqrt{3}$ মিটার, প্রতি সেকেণ্ডে।

4. Explain in detail what you understand by the principle of conservation of energy.

ষষ্ঠ পরিচ্ছেদ

উদ্‌স্থিতিবিদ্যা

তরল পদার্থের চাপ

১১৩। উদ্‌স্থিতিবিদ্যা বা তরল পদার্থের বলবিদ্যা :—ইহা বলবিদ্যারই একটি শাখা। ভিতরের বা বাহিরের প্রযুক্ত বলের ক্রিয়ায় সাম্য অবস্থাগত তরল পদার্থের বিষয় লইয়াই এই শাখা আলোচনা করে।

আদর্শ তরল পদার্থের সংজ্ঞা এই যে, ইহার কোন নিজস্ব আকার নাই; যে পাত্রে রাখা হইবে উহা তাহারই আকার পাইবে। এইরূপ তরল সংনমনীয় নয়। ইহার বাহিরে বা ভিতরে কোন ঘর্ষণবল উৎপন্ন হয় না। এইরূপ আদর্শ তরল পদার্থ বিরল। তবু আমাদের আলোচ্য সকল তরল পদার্থকে আমরা আদর্শস্থানীয় বলিয়া ধরিব।

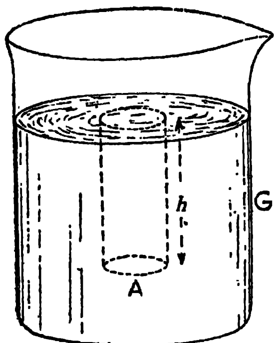
১১৪। তরল পদার্থের চাপ :—কোন পাত্রে তরল পদার্থ রাখা হইলে পাত্রের গাত্রে ও তলায় বল প্রযুক্ত হয়। একটি পৃষ্ঠের উপর যে-কোন বিন্দুর চতুর্দিকে এক বর্গএকক স্থানে যে বল পড়ে, তাহাকে ঐ বিন্দুতে তরল পদার্থের চাপ বলা হয়।

তরল পদার্থের চাপের দৃষ্টান্ত হিসাবে একটি সহজ পরীক্ষা দেখান যায়। গাত্রে একটি ছিদ্র আছে এইরূপ একটি পাত্র জল দ্বারা ভর্তি কর। ছিদ্র দিয়া বেগে জল বাহির হইবে। একখানি ধাতুর পাত দিয়া গর্তের মুখ আঁটিয়া ধর। বাহির হইতে পাতটির উপর উপযুক্ত বল প্রয়োগ না করিলে পাতটির দ্বারা জল পড়া বন্ধ করা যাইবে না, পাতটি দূরে নিক্ষিপ্ত হইবে। ইহাই প্রমাণ করে যে, তরল পদার্থ পাত্রের গাত্রে বলপ্রয়োগ করে বা তরল পদার্থ পাত্রের গাত্রে চাপ দেয়। দুই-মুখ-খোলা একটি কাঁচের চোঙের তলার মুখ একখণ্ড রবাবের পর্দা দিয়া ভাল করিয়া বাঁধিয়া দাও। জল দিয়া চোঙটি ভর্তি করিলে পদার্থটির মধ্যস্থল ঝুলিয়া পড়িবে। ইহা প্রমাণ করে যে, জল পাত্রের তলার উপর চাপ দেয়।

মিউনিসিপ্যালিটির জলের পাইপে ফুটা হইলে উহা দিয়া সরু নলে জল বাহির হইতে থাকে। ভিতরের জলের চাপেই এরূপ ঘটে। জলের চাপেই কল খুলিলে জল পড়ে। অতিবৃষ্টির ফলে বা পর্বতশীর্ষ হইতে অতিরিক্ত পরিমাণ বরফ গলিয়া

জল নামিয়া আসিলে নদীর জলের চাপ সময় সময় এত বিপজ্জনকভাবে বাড়িয়া যায় যে দৃঢ় বাঁধ পর্যন্ত ভাঙিয়া দিয়া উহা প্লাবন সৃষ্টি করে।

(ক) তরল পদার্থের চাপ (pressure) ও ধাক্কার বল (thrust).— কোন তরল পদার্থের উপরিতল হইতে h একক দৈর্ঘ্য খাড়া নীচে A ক্ষেত্রফল কল্পনা কর। চিত্র ৬২-তে পাত্র G-র মধ্যে তরল পদার্থ আছে বলিয়া দেখান হইয়াছে। মনে কর, A ক্ষেত্রফলের উপর এই তরল পদার্থ F ধাক্কা বল প্রয়োগ করে। তাহা হইলে চাপ (বা, একক ক্ষেত্রফলের উপর বল) $=\frac{F}{A}$। ধাক্কার বল = চাপ × ক্ষেত্রফল।



চিত্র ৬২

(১) সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে চাপের পরম একক হইল ডাইন, প্রতি বর্গ-সেন্টিমিটারে। (২) এফ. পি. এস্. পদ্ধতিতে চাপের পরম একক হইল পাউণ্ড্যাল্, প্রতি বর্গফুটে। এই পদ্ধতিতে চাপের অভিকর্ষ একক হইল পাউণ্ড, প্রতি বর্গফুটে, বা পাউণ্ড-ভার, প্রতি বর্গফুটে।

(খ) সাম্যাধীন তরল পদার্থের অভ্যন্তরে কোন বিন্দুতে তরলের চাপ.— চিত্র ৬২ অনুযায়ী, তরল পদার্থের উপরের তল হইতে h একক দৈর্ঘ্য নীচে A ক্ষেত্রফলের একটি অনুভূমিক তল কল্পনা কর। A-ভূমির উপর তরল পদার্থটির একটি খাড়া নিরেট চোঙ উপরিতল পর্যন্ত প্রসারিত আছে। এই চোঙের তরল পদার্থের আয়তনে $= A \times h$। ইহার ভর $= Ah\rho$ (ρ = তরল পদার্থের ঘনত্ব)। ইহার ভার $=$ $Ah\rho g$ (g = অভিকর্ষজাত ত্বরণ)। সুতরাং, A ক্ষেত্রফলের ভূমির উপর ঐ চোঙের তরল পদার্থের ধাক্কার বল $= Ah\rho g$।

ঐ ভূমির যে-কোন বিন্দুতে গড় চাপ $= p = \frac{\text{ধাক্কার বল}}{\text{ক্ষেত্রফল}} = \frac{Ah\rho g}{A} = h\rho g$।

অতএব, কোন বিন্দুতে তরল পদার্থের নিম্ন চাপ = তরল পদার্থের ঐ বিন্দুর গভীরতা × তরলের ঘনত্ব × স্থানীয় অভিকর্ষজাত ত্বরণ ... ... (১)

অর্থাৎ, কোন বিন্দুতে তরলের নিম্ন চাপ ∝ তরলে ঐ বিন্দুর গভীরতা,

∝ তরলের ঘনত্ব,

∝ স্থানীয় অভিকর্ষ ত্বরণ।

দ্রষ্টব্য : (১) উপরোক্ত সম্পর্ক তরলের নিম্ন চাপ সম্বন্ধে বাহির করা হইল। প্রমাণ করা যায় যে, কোন বিন্দুতে তরলের নিম্ন চাপ = ঐ বিন্দুতে ঊর্ধ্বচাপ = ঐ বিন্দুতে তরলের পার্শ্ব চাপ।

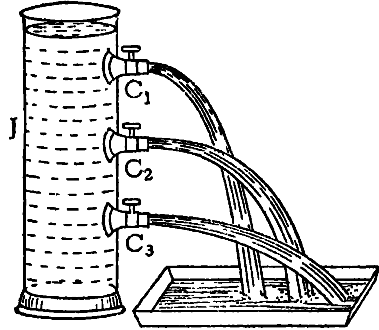
(২) তরল পদার্থের মধ্যে কোন বিন্দুতে মোট চাপ (P) = গভীরতা × ঘনত্ব × g + তরল পদার্থের উপরে বায়ুমণ্ডলের চাপ P_A। অর্থাৎ,

$$P = P_A + h\rho g$$

১১৫। 'তরল পদার্থের চাপ গভীরতা বাড়লে বাড়ে'—উহার পরীক্ষা :—

(ক) **উচ্চ জারের (jar) পরীক্ষা.**—

একটি উচ্চ জার (J) লও (চিত্র ৬৩)। ইহার তিনটি মুখ c_1, c_2, c_3 বিভিন্ন উচ্চতায় বসান আছে। প্রত্যেক মুখে কল লাগানো। কলগুলি বন্ধ করিয়া জারটি জল দ্বারা ভর্তি কর। এখন একসঙ্গে তিনটি কল খুলিয়া দাও। তিনটি মুখ দিয়া তিনটি বিভিন্ন জলের ধারা বা জেট্ (jet) বাহির হইবে। সবচেয়ে উপরের মুখ c_1 হইতে নির্গত জেট্টি বেশি দূর যাইবে না। তাহার পরের নীচের মুখ

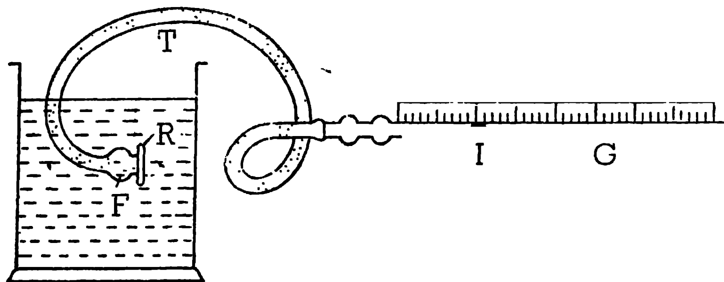


চিত্র ৬৩

c_2 দিয়া বাহির হওয়া জেট্ একটু বেশি দূর পর্যন্ত যাইবে। সবচেয়ে গভীরের মুখ c_3 দিয়া বাহির হওয়া জেট্ সর্বাপেক্ষা বেশি দূর যাইবে। ইহাতেই প্রমাণ হয় যে, গভীরতা যত বাড়ে তরল পদার্থের পার্শ্বচাপও তত বাড়ে। পার্শ্বচাপ যাহা ঐ তলে নিম্নচাপ বা ঊর্ধ্বচাপও তাহাই। তাই বলা হয় যে, গভীরতার সঙ্গে তরলের চাপ বাড়ে।

(খ) **থিস্‌ল ফানেলের (thistle funnel) পরীক্ষা.**—একটি থিস্‌ল ফানেল (F) লও (চিত্র ৬৪)। ইহার মুখ একখান রবারের পর্দা (R) টানিয়া প্রসারিত করিয়া উহা দ্বারা বাঁধিয়া দাও যাহাতে ফানেলটিতে জল ঢুকিতে না পারে। অন্য মুখে একটি রবারের নল (T) বসাও। রবার নলটির অন্য প্রান্তে একটি

সরল কাঁচের নলের (G) এক মুখ লাগাও। G-কে অনুভূমিক করিয়া ধরিয়া রাখার ব্যবস্থা কর। G-র মধ্যে একফোঁটা রঙীন তরল পদার্থ (I) ঢুকাও, উহা একটি সূচকের কাজ করিবে। সূচক I হইতে ফানেলের মুখ R পর্যন্ত বায়ু আছে। রবারের পর্দা R-এর উপর আঙুলের সামান্য চাপ দিলেই দেখিবে সূচক I কাঁচের নলের খোলা মুখের দিকে



চিত্র ৬৪

আগাইয়া যায়, চাপ সরাইয়া লইলে আবার পিছাইয়া আসে। G নলটির নালী সরু ও সর্বত্র একই প্রস্থচ্ছেদের হওয়া বাঞ্ছনীয়। বুঝিতেছ, উপরের ব্যবস্থায় চাপ মাপার একটি সহজ যন্ত্র তৈয়ারি করা হইল [চাপ মাপার যন্ত্রকে ইংরাজীতে ম্যানোমিটার (manometer) বলে। বায়ুর চাপ মাপার যন্ত্রকে ব্যারোমিটার (barometer) বলে—উহাও একপ্রকারের ম্যানোমিটার। কাজেই বলা যায়, থিস্‌ল ফানেল যন্ত্রটি বস্তুতঃ এখানে একটি ম্যানোমিটার হইল]।

এখন একটি জলপূর্ণ পাত্রে থিস্‌ল ফানেলটি ডুবাও। ইহাতে সূচক I কাঁচের নলের বহির্মুখের দিকে সরিয়া যাইবে। ফানেলটি যতই গভীরে নামাইবে ততই সূচকটি বেশি দূর পর্যন্ত সরিবে। সূচক কোথায় গেল তাহা স্কেল S হইতে দেখিয়া চাপ কত বোঝা যায়। ইহাই প্রমাণ করে যে, গভীরতা বাড়িলে তরল পদার্থের চাপ বাড়ে। ফানেল দ্বিগুণ গভীরে ডুবাইলে, সূচকের সরণ দ্বিগুণ হয়। তিন গুণ গভীরে ডুবাইলে, সরণ তিন গুণ হয়, অর্থাৎ তরলের চাপ গভীরতার আনুপাতিক হয়।

এখন ফানেলটি নির্দিষ্ট গভীরতায় একই স্থানে রাখিয়া উহার মুখ উপরে, নীচে বা যে-কোন পার্শ্বের দিকে ঘুরাইয়া ধর। দেখিবে যে, সূচক I একই স্থানে থাকিবে, উহা নড়িবে না। ইহাতে প্রমাণ হয় যে, তরল পদার্থের অন্তর্গত কোন বিন্দুতে উপর, নীচ ও পার্শ্বের যে-কোন দিকেই চাপ সমান, অর্থাৎ কোন নির্দিষ্ট গভীরতায় তরলের

উর্ধ্বচাপ, নিম্নচাপ ও পার্শ্বচাপ একই মানের। ফানেলটি একই গভীরে তরলের বিভিন্ন স্থানে লইয়া গিয়া উপরের এই পরীক্ষা চালাইলেও ফল ঐ একই হইবে।

অতএব এই সহজ পরীক্ষা হইতে বোঝা যায় যে—

(১) তরল পদার্থের অভ্যন্তরস্থ কোন বিন্দুতে চাপ গভীরতার সহিত আনুপাতিক ;

(২) তরলের অন্তর্গত যে-কোন বিন্দুতে চাপের মান সবদিকেই সমান ;

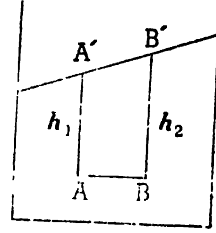
(৩) একই গভীরতায় তরলের চাপ তলের সর্বত্র সমান।

১১৬। স্থির তরল পদার্থের স্বাধীন পৃষ্ঠ (free surface) সর্বদা অনুভূমিক হইবে :—

ধরা যাক্ যে, একটি তরলের উপরিতল অনুভূমিক না হইয়া হেলিয়া স্থির হইয়া আছে এবং A' ও B' ঐ হেলান তলের উপর দুইটি বিন্দু (চিত্র ৬৫)।

A'-এর খাড়া নীচে A ও B'এর খাড়া নীচে B বিন্দুদ্বয় একই সমতলে আছে মনে কর। তাহা হইলে B বিন্দুতে মোট চাপ $= P_A + (B'B) \times \rho \times g$

$= P_A + h_2 \rho g$।



চিত্র ৬৫

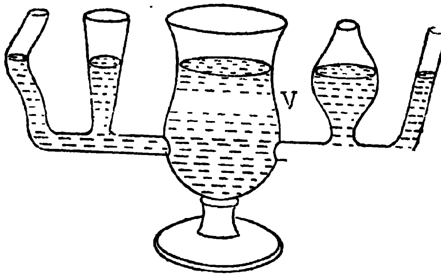
[এখানে P_A = বায়ুমণ্ডলের চাপ, ρ = তরলের ঘনত্ব, g = অভিকর্ষজাত ত্বরণ, h_2 তরলের নীচে B বিন্দুর গভীরতা]। A-তে মোট চাপ $= P_A + (A'A) \times \rho \times g = P_A + h_1 \rho g$, ($h_1$ = তরলের নীচে A বিন্দুর গভীরতা)।

$h_2 > h_1$ হইলে, B-তে চাপ $>$ A-তে চাপ।

তাহা হইলে তরল পদার্থের ধর্ম অনুযায়ী, তরল পদার্থের কণাগুলি B হইতে A-র দিকে বহিয়া যাইতে থাকিবে যতক্ষণ না h_2 এবং h_1-এর মান সমান হয়। $h_1 = h_2$ হইলে $A'A = B'B$ হইবে এবং AB অনুভূমিক বলিয়া $A'B'$ অনুভূমিক হইবে। তাই দেখা যাইতেছে যে, স্বাধীন উপরিতল হেলান অবস্থাতে থাকিতে পারে না, অর্থাৎ তরল পদার্থের স্বাধীন উপরিতল অনুভূমিক হইবেই।

১১৭। যুক্ত পাত্রে তরল পদার্থ আপন উচ্চতা খুঁজিয়া লয় (A liquid finds its own level in connected vessels everywhere) :— V একটি কাঁচের নির্মিত জটিল পাত্র। বিভিন্ন আকার ও আয়তনের নানা অংশ ইহাতে আছে (চিত্র ৬৬)। এই অংশগুলির উপরের মুখ খোলা কিন্তু তলার দিকে নল দ্বারা পরস্পর যুক্ত বলিয়া ইহাদের মধ্যে তরল চলাচলের যোগপথ আছে। ইহাদের যে

কোন একটিতে তরল ঢালিলে ঐ তরল, দেখিবে, প্রত্যেক পাত্রেই সমান উচ্চতায় দাঁড়ায়। এই ঘটনাটিকেই 'যুক্ত পাত্রে তরল পদার্থ আপন উচ্চতা খুঁজিয়া লয়' বলা হয়। এইভাবেই চা-এর কেত্‌লি ও উহার নলে (spout) তরল চা একই উচ্চতায় থাকে। বয়লারের সহিত যুক্ত জলগেজ (water-gauge) —যাহা দ্বারা বয়লারের মধ্যের জলের উচ্চতা জানা যায়—এই নীতিতেই কাজ করে। গেজের সহিত বয়লারের ভিতরের যোগ আছে।

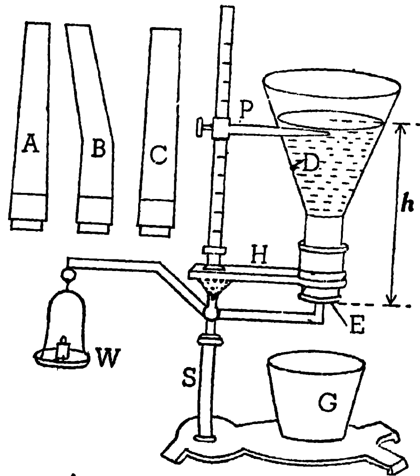


চিত্র ৬৬

তরল পদার্থের স্বাধীন উপরিতল সর্বদা অনুভূমিক হইবে—তাই ইহা সম্ভব।

১১৮। জলের চাপ পাত্রের আকার বা আয়তনের উপর নির্ভর করে না, গভীরতার উপর নির্ভর করে ঃ—

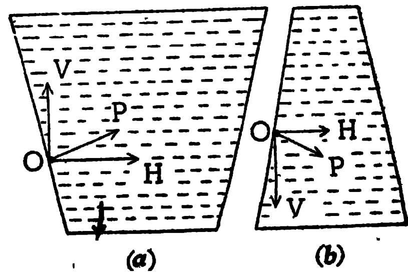
পরীক্ষা (১).—চিত্র ৬৭-তে A, B, C এবং D চারিটি পাত্র দেখান হইয়াছে। ইহাদের ভূমির ক্ষেত্রফল সমান কিন্তু প্রত্যেকটিরই আকার ও আয়তন বিভিন্ন। প্রত্যেকটি পাত্রেরই দুই মুখ খোলা। ইহাদিগকে প্যাস্কেলের পাত্র (Pascal's vases) বলা হয়। H হইল S খাড়া দণ্ডে বসানো একটি পাটাতন। ইহার উপর একটি গর্ত আছে যার মধ্যে প্যাঁচ কাটা আছে। A, B, C ও D পাত্রের নীচেও বাহিরের দিকে প্যাঁচ কাঁটা আছে। এই প্যাঁচগুলির সাহায্যে ইহাদের যে-কোন একটি পাত্র H-এর গর্তের মধ্যে ঘুরাইয়া আটকাইয়া বসান যায়। স্ট্যাণ্ড S-কে আলম্ব করিয়া একটি তুলাদণ্ড আছে—ইহার



চিত্র ৬৭

ডাইন প্রান্তে আছে একটি ঢাক্‌না (E)। উহা দ্বারা A-এর গর্তের মুখ বন্ধ করিয়া রাখা যায়। দণ্ডের বাম দিকের প্রান্তে একটি তুলাপাত্র ঝুলান আছে। এই পাত্রের উপর প্রামাণ্য ভর রাখা হয়। পাত্রে একটি নির্দিষ্ট ভর (W) চাপান হইলে E ঢাক্‌না নির্দিষ্ট বলে প্যাস্‌কেল-পাত্রের মুখ আটকাইয়া ধরে। পাত্রগুলির মধ্য হইতে একটিকে H-এর গর্তের মধ্যে আঁটিয়া বসাইয়া দাও এবং উহা জলে ভর্তি করিতে থাক। জলের উচ্চতা যত বাড়িবে পাত্রের ভূমির উপর চাপও তত বাড়িবে। উচ্চতা h হইলে ভূমির উপর নিম্ন চাপের পরিমাণ হইবে $h\rho g$ এবং ভূমির উপর প্রযুক্ত বল হইবে $ah\rho g$ (ভূমির ক্ষেত্রফল a ধরিলে)। ভর W কর্তৃক ঢাক্‌না E-র উপর ঊর্ধ্ব দিকে প্রযুক্ত বল $ah\rho g$কে নাকচ করিবে। জলের উচ্চতা বাড়াইলে, জলের প্রযুক্ত নিম্ন বল এই ঊর্ধ্ব বলকে অতিক্রম করিয়া যাওয়া মাত্রই ঢাক্‌না খুলিয়া জল নিম্নস্থ পাত্রের (G) মধ্যে পড়িতে থাকিবে। সূচক P-র দ্বারা জলের যে উচ্চতায় ঢাক্‌না খুলিয়া যায় তাহা নির্দেশ করিয়া রাখ।* এখন এক এক করিয়া, A, B, C ও D চারিটি পাত্রই পরপর বসাইয়া এই পরীক্ষা কর। প্রতিক্ষেত্রেই জলশীর্ষ P-সূচক পর্যন্ত উঠিলে, দেখিবে, ঢাক্‌না খুলিয়া পাত্র হইতে জল বাহির হইতে আরম্ভ করিবে। ভূমি হইতে P-র উচ্চতা পর্যন্ত জলের পরিমাণ ভিন্ন ভিন্ন আয়তনের পাত্রের বেলা প্রতি ক্ষেত্রেই বিভিন্ন। আপাতদৃষ্টিতে মনে হইবে যে, একই উচ্চতাবিশিষ্ট বিভিন্ন পরিমাণ জলের ভূমির উপর নিম্ন চাপ বিভিন্ন হওয়া উচিত। কিন্তু এই পরীক্ষায় প্রমাণিত হইল যে, চাপ তরল পদার্থের পরিমাণের উপর নির্ভর করে না, উচ্চতা বা গভীরতা দিয়াই নির্দিষ্ট হয়। আপাত সত্য ও প্রকৃত সত্যের মধ্যে এই বৈষম্যের জন্য এই ঘটনাটিকে উদ্‌স্থিতির একটি কূট দৃষ্টান্ত (hydrostatic paradox) বলা হয়।

উদ্‌স্থিতি কূটের ব্যাখ্যা।—

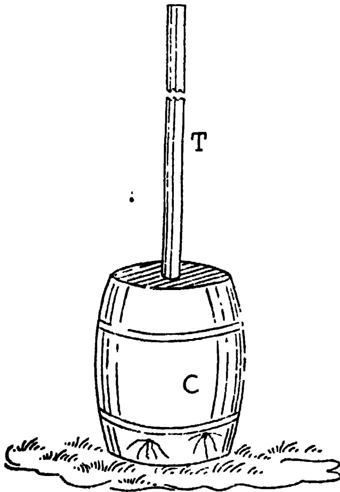


চিত্র ৬৮

চিত্র ৬৮-র পাত্রদুইটি বিবেচনা করা যাক্। (a) ও (b) পাত্রদ্বয়ে জলের উচ্চতা সমান। পাত্রদুইটির আয়তন বিভিন্ন কিন্তু ইহাদের ভূমির ক্ষেত্রফল সমান। পাত্র (a)র ঢালু গাত্রে, মনে কর, O একটি বিন্দু। O-বিন্দুতে জলের চাপের জন্য ধাক্কার

* জলের উচ্চতাকে সাধারণতঃ জলশীর্ষ (water-head) বলা হয়।

যে বল পড়ে তাহার প্রতিক্রিয়া হিসাবে পাত্রের গাত্র নিজের লম্ব দিকে বিপরীতমুখী এক সমান বল সৃষ্টি করে। এই প্রতিবলকে চিত্রে P দ্বারা বুঝান হইয়াছে। অনুভূমিক দিকে P-র বিযোজিত অংশ হইল H এবং খাড়া উপর দিকে বিযোজিত অংশ হইল V। পাত্রের গাত্রে প্রতি বিন্দুতে খাড়া ঊর্ধ্ব দিকে প্রতিক্রিয়া বলের যে বিযোজিত অংশবলগুলি (V-র মত) কাজ করে তাহা হেলানো ধারের উপরের তরল পদার্থকে ধরিয়া রাখে। এইরূপ হয় বলিয়াই, পাত্রের ভূমির উপর যে বল প্রযুক্ত হয় তাহা মাত্র ভূমির ক্ষেত্রফলের সমান প্রস্থচ্ছেদবিশিষ্ট এবং পাত্রস্থ তরলের সম উচ্চ একটি তরল-স্তম্ভের ভারের সমান হয়। b পাত্রের বেলায়, দেখিতেছ, প্রতিক্রিয়া বলের (P) খাড়া দিকের বিযোজিত অংশ (V) নীচের দিকে কাজ করে। এই অতিরিক্ত বল ভূমির উপর প্রযুক্ত হয় বলিয়া, b পাত্রে জলের পরিমাণ কম হওয়া সত্ত্বেও ভূমির উপর কার্যকর বল a-পাত্রের ভূমির উপরের কার্যকর বলের সমান হয়। a ও b পাত্রের ভূমির ক্ষেত্রফল এক বলিয়া এবং উভয় ক্ষেত্রেই তরল পদার্থের উচ্চতা সমান বলিয়া, উভয় পাত্রের ভূমির উপরে চাপ ও মোট ধাক্কার বল সমান হইবে।



চিত্র ৬৯

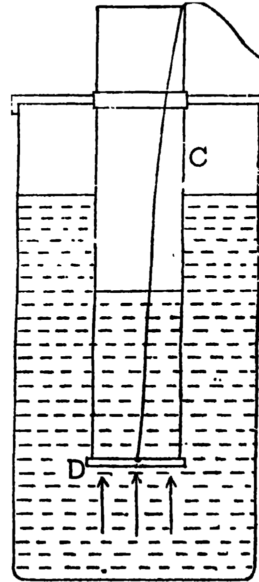
পরীক্ষা (২).—এই পরীক্ষাটি সহজ অথচ খুবই চিত্তাকর্ষক ও চমকপ্রদ। একটি শক্তপোক্ত পিপের (C-র) উপরে একটি ফুটা আছে (চিত্র ৬৯)। এই ফুটায় একটি সরু নল (T) জলনিরুদ্ধভাবে (**water-tight**) বসানো আছে। পিঁপেটি জলে ভর্তি আছে। এই জলের পরিমাণ খুবই বেশি ও ইহার ভার সহিবার ক্ষমতাও পিপের তলা ও গাত্রের আছে। জলের পরিমাণ সামান্য বাড়িলে এই পিঁপেটির কোন ক্ষতি হইবে না। T নলের মধ্যে জল ঢাল। T সরু বলিয়া অল্প জলেই নলে জলের উচ্চতা অনেকটা বাড়িবে। ঐটুকু জলের পরিমাণ সামান্যই। পিঁপের ভূমির উপর ধাক্কার বল জলের পরিমাণের উপর নির্ভর করিলে, ঐটুকু জলের জন্য অতিরিক্ত ধাক্কার বলে উহার কোন ক্ষতি হইত না। আর ভূমির উপর চাপ জলশীর্ষের উচ্চতার

উপর নির্ভর করিলে অল্প জলেই উচ্চতা বেশি বাড়ে বলিয়া চাপ এবং ধাক্কা-বল প্রচণ্ড হইয়া উঠিবে। ফলে পিঁপে ফাটিয়া চৌচির হইবে।

পরীক্ষা চালাইলে দেখা যায় যে, T নলে খানিকটা উচ্চতা পর্যন্ত জল দিলেই পিঁপেটি ফাটিয়া যায়। সুতরাং প্রমাণিত হয় যে, জলের চাপ জলশীর্ষের উপর নির্ভর করে, জলের পরিমাণের উপর নির্ভর করে না।

১১৯। **তরল পদার্থের ঊর্ধ্ব-চাপ** (upthrust) :—একটি কর্ক বা একটি মুখবন্ধ-করা টেস্ট-টিউব জলের মধ্যে চাপিয়া ধরিলে উহা উপর দিকে ঠেলিয়া উঠিতে চায়, ছাড়িয়া দিলেই জলের উপরে ভাসিয়া উঠে। তরল পদার্থ বস্তুটির উপর ঊর্ধ্ব চাপ না দিলে এরূপ ঘটিত না।

তরলের মধ্যে নির্দিষ্ট গভীরতায় ঊর্ধ্ব চাপ ও নিম্ন চাপের মান একই।— দুই মুখ খোলা কাঁচের একটি ফাঁপা চোঙ (C) এবং উপযুক্ত ব্যাসের একটি পাতলা টিনের চাকৃতি লও (চিত্র ৭০)। চাকৃতিটি সুতা-দ্বারা বাঁধিয়া সুতাটি চোঙের মধ্য দিয়া গলাইয়া চোঙের উপর হইতে টানিয়া ধরিয়া চোঙটির তলার মুখ বন্ধ কর। এই অবস্থায় চোঙটিকে আর-একটি জল-ভর্তি বড় চোঙের মধ্যে কিছুটা নামাইয়া ধরিয়া রাখ। এখন সুতাটি ছাড়িয়া দেও। জলের ঊর্ধ্বচাপের দরুণ চাকৃতিটি চোঙের তলার মুখ সাঁটিয়াই রাখিবে। এখন সরু চোঙটির মধ্যে একটু একটু করিয়া জল ঢালিতে থাক। ভিতরের জলের উচ্চতা বাহিরের জলের উচ্চতার প্রায় সমান সমান হইলে চাকৃতিটি আপন ভারে নীচে পড়িয়া যাইবে। কারণ, এই অবস্থায় চাকৃতির উপরি তলের উপর তরলের নিম্নমুখী চাপ এবং নিম্নতলে ঊর্ধ্বমুখী চাপ সমান সমান।



চিত্র ৭০

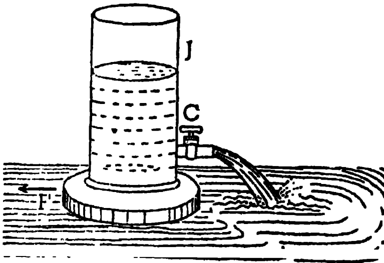
তাই এই পরীক্ষা হইতে প্রমাণ হয় যে, কোন বস্তু তরলে নিমজ্জিত থাকিলে উহার তলভূমির উপর তরলের এক ঊর্ধ্বচাপ ক্রিয়া করে এবং যে-কোন নির্দিষ্ট গভীরতায় তরলের ঊর্ধ্বচাপ ঐ একই গভীরতায় তরলের

নিম্নচাপের সমান। তরলের উর্ধ্ব চাপের জন্য নিমজ্জিত বস্তুর উপর ধাক্কার যে বল (upthrust) পড়ে তাহাকে প্লবতা (buoyancy) বলে।

১২০। তরল পদার্থের পার্শ্বচাপ (Lateral Pressure) :—হোস্ পাইপে জল দেওয়ার সময় দেখা যায় যে, পাইপের গায়ে ছিদ্র থাকিলে সরু নালে উহা হইতে জল নির্গত হইতে থাকে। ইহার কারণ কি? কারণ, পাইপের মধ্যে চলন্ত জলের পার্শ্বচাপ আছে। এই পার্শ্বচাপ পাইপের গাত্রের প্রতিক্রিয়া-বলের চাপের দ্বারা নাকচ হয়। ছিদ্র থাকিলে প্রতিক্রিয়ার ঐ বিপরীত চাপ সৃষ্টি করিবার কেহ থাকে না বলিয়া পার্শ্বচাপের দরুণ জল, নালের আকারে, সবেগে বাহির হইতে থাকে। নৌকার তলায় বা পাশে কোন ফুটা হইলে নদীর জল পার্শ্বচাপের জন্য নৌকায় প্রবেশ করে।

লেবরেটরিতে একটি সহজ পরীক্ষার সাহায্যে তরলের পার্শ্বচাপের অস্তিত্ব প্রমাণ করা যায়। চিত্র ৭১-এ J একটি ধাতুর পাতে তৈয়ারী ফাঁপা হাল্‌কা চোঙ। ইহার উপরের মুখ খোলা ও নীচের মুখ বন্ধ। নীচে পাশের দিকে ইহাতে একটি স্টপ্-কক্ (C) লাগান আছে।

এই চোঙটি একটি বড় কর্কের উপর বসাইয়া উহা একপাত্র জলের উপর ভাসাও। এবার কল (C) বন্ধ করিয়া চোঙটিতে জল ভর্তি কর। ঐ অবস্থায় কল বন্ধ থাকিলে চোঙটি এক-স্থানে স্থির হইয়া ভাসমান থাকিবে। কিন্তু কলটি খুলিয়া দিলে, কল হইতে যেদিকে জল বাহির হইবে, চোঙটি তাহার বিপরীত দিকে চলিতে থাকিবে। চিত্র ৭১-এ এই দিক্ F তীরচিহ্ন দ্বারা দেখান হইয়াছে।



চিত্র ৭১

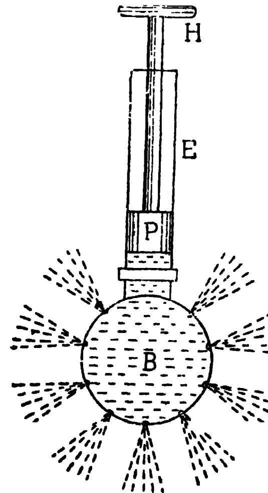
এই ঘটনার ব্যাখ্যা নিম্নরূপ। কল বন্ধ থাকিলে কলের উপর জলের পার্শ্বচাপ কলের প্রতিক্রিয়ার বিপরীত চাপে নাকচ হইয়া যায়। কল খুলিলে এই বিপরীত চাপ আর থাকে না এবং পার্শ্বচাপে জল বাহির হইতে থাকে। নির্গত জলধারার ঘাতের প্রতিক্রিয়ায় চোঙটি বিপরীত দিকে (F দিকে) সমান ঘাত লাভ করে, ফলে চোঙটি

জলধারার বিপরীত দিকে চলে। তরল পদার্থের পার্শ্বচাপ না থাকিলে কল দিয়া জল বাহির হইত না এবং চোঙটিও চলিতে থাকিত না।

বার্কারের মিল (**Barker's mill**) বা উদ্‌ঘূর্ণন যন্ত্রের (**hydraulic torniquette**) সাহায্যেও পার্শ্বচাপের অস্তিত্ব সহজে দেখান যায়। বার্কারের মিলে জলের পাত্রটি একটি খাড়া অক্ষের চারিদিকে ঘুরিতে পারে। পাত্রের তলায় একই অনুভূমিক তলে একই দিকে (ঘড়ির কাঁটার দিকে অথবা বিপরীত দিকে) মুখ ঘোরানো কতকগুলি সরু মুখবিশিষ্ট বাঁকানো নল লাগান আছে। এই নলমুখ দিয়া বেগে জল বাহির হয়। এই সমুদয় নলমুখে জল নির্গমনের প্রতিক্রিয়ায় বিপরীত দিকে যে ঘাতবলের সৃষ্টি হয় তাহা এক টর্ক উৎপন্ন করে এবং পাত্রটিকে জলের নাল-নির্গমনের বিপরীত দিকে ঘুরাইতে থাকে।

১২১। তরলের পার্শ্বচাপ পাত্রের গাত্রের উপর উল্লম্বভাবে কাজ করে :—

B একটি গোলাকার সচ্ছিদ্র পাত্র (চিত্র ৭২)। ইহার সহিত সমান প্রস্থচ্ছেদ-বিশিষ্ট একটি চোঙ (E) যুক্ত আছে। চোঙ E-র মধ্যে জল-নিরুদ্ধভাবে একটি পিস্‌টন (P) কাজ করে। H হইল পিস্‌টনের হাতল। B জলে পূর্ণ করিয়া H-এর সাহায্যে পিস্‌টনটি ভিতর দিকে ঠেলিলে সবগুলি ফুটা দিয়াই জল বেগে বাহির হইবে। দেখা যাইবে যে, যে-কোন ছিদ্র হইতে জল তথাকার পাত্রগাত্রের লম্ব দিকে বাহির হয়। অর্থাৎ, জলের নাল যেন গোলাকার পাত্রটির কেন্দ্র হইতে বাহির হইয়া আসিতেছে মনে হইবে।



চিত্র ৭২

১২২। তরল পদার্থের সাম্যতার সর্ত : (Conditions of equilibrium of a liquid) :—কোন তরল পদার্থ স্থির অথবা সাম্যের অবস্থায় থাকিলে নিম্নলিখিত সর্তগুলি অবশ্য প্রতিপালিত হইবে—

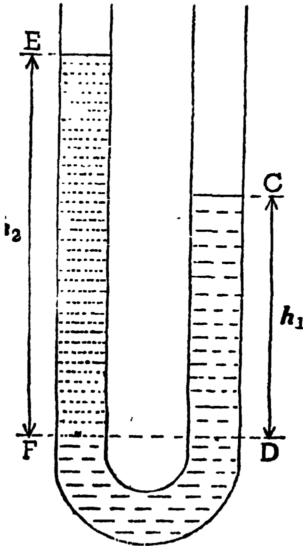
(১) তরল পদার্থের অন্তর্গত যে-কোন ক্ষুদ্র আয়তনের (any elementary volume) উপর তরল যে উর্ধ্বমুখী চাপের বল সৃষ্টি করে তাহা তরলের ঐ ক্ষুদ্রাংশের ভরের সমান হইবে।

উর্ধ্বমুখী চাপের বল অধিক হইলে ইহা উপরে উঠিত, আর তরলের ঐ ক্ষুদ্রাংশের ভার বেশি হইলে উহা নীচে নামিত। দুইটি বল সমান সমান বলিয়া তরল পদার্থটুকু সাম্যের অবস্থায় থাকিতে পারে।

(২) তরল পদার্থের স্বাধীন তল সর্বদা আনুভূমিক হইবে।

১২৩। একটি U-টিউবের মধ্যে দুইটি তরল পদার্থের সাম্য :—

চিত্র ৭৩-এ একটি U-আকৃতির টিউব ($EFDC$) দেখান হইয়াছে। ρ_1 ঘনত্বের কোন তরল পদার্থ ইহার মধ্যে ঢালা হইলে উভয় অঙ্গে ঐ তরলের উচ্চতা সমান হইবে। এখন অপেক্ষাকৃত হাল্‌কা (ρ_2 ঘনত্বের) অন্য একটি তরল পদার্থ টিউবটির মধ্যে ঢালো। মনে কর যে, এই দুইটি তরল পদার্থ পরস্পরের সহিত গুলিয়া যায় না বা কোন রাসায়নিক ক্রিয়া করে না। স্থির অবস্থা প্রাপ্ত হইলে, ধরা যাক্ E হইল দ্বিতীয় তরল পদার্থের স্বাধীন তল এবং C প্রথম তরল পদার্থটির স্বাধীন তল এবং F তরল পদার্থদুইটির সাধারণ তল। সব তলগুলিই অনুভূমিক হইবে। মনে কর, F-এর অনুভূমিক তল টিউবের অপর অঙ্গে D-র বরাবর। তাহা হইলে, F ও D-তে তলের চাপ সমান। উচ্চতা $EF = h_2$ এবং উচ্চতা $CD = h_1$ হইলে, F তলের উপর মোট নিম্ন চাপ $= P_A + h_2\rho_2 g$,



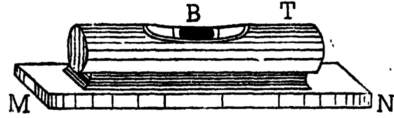
চিত্র ৭৩

(বায়ুমণ্ডলের চাপকে P_A বলা হইলে) এবং D তলের উপর মোট নিম্ন চাপ $= P_A + h_1\rho_1 g$, $g =$ অভিকর্ষীয় ত্বরণ। কিন্তু F-এ চাপ $= D$-এ চাপ। $\therefore\ h_1\rho_1 g = h_2\rho_2 g$;

$$\text{বা, } \frac{h_1}{h_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1} \qquad \cdots \qquad \cdots \qquad \cdots \qquad (১)$$

অতএব দেখা যাইতেছে যে, দুইটি তরল পদার্থ U-টিউবে সাম্যাবস্থায় থাকিলে পারস্পরিক সাধারণ তল হইতে তরলদুইটির শীর্ষের উচ্চতা উহাদের ঘনত্বের সহিত বিপরীত অনুপাতসম্পন্ন হইবে।

১২৪। **স্পিরিট লেভেল** (Spirit Level):—চিত্র ৭৪-এ একটি স্পিরিট লেভেল দেখান হইয়াছে। ইহার সাহায্যে কোন পৃষ্ঠ অনুভূমিক হইল কি না তাহা নির্ণয় করা হয়। ইহাতে একটি দুই-মুখ-বন্ধ-করা ছোট কাঁচের নল একটি পিতলের আধারের (T) মধ্যে দৃঢ়ভাবে বসান থাকে। আধারটির তলদেশ সমতল। কখনো কখনো একখানি পিতলের ভূমি প্লেট (MN)-এর উপর আধারটি দৃঢ়ভাবে বসান থাকে। কাঁচের নলটি নেওয়া হয় নীচের দিকে একটু বাঁকান রকমের। আধারের উপরিপৃষ্ঠের মধ্যস্থলে একটি গবাক্ষ থাকে—উহার মধ্য দিয়া নলের মধ্যাংশ বাহির হইতে দেখা যায়। নলটি স্পিরিট দিয়া ভর্তি করা এবং উহাতে একটি বায়ু-বুদ্‌বুদ থাকে। যন্ত্রটির তলা অনুভূমিক হইলে বুদ্‌বুদটি নলের ঠিক মধ্যাংশে থাকে। বুদ্‌বুদটি হাল্‌কা বলিয়া সর্বদা সর্বোচ্চ স্থানে উঠিতে চায়, তাই স্পিরিট লেভেলের বাম দিক্ নীচু হইলে বুদ্‌বুদ ডাইন দিকে সরে এবং ডাইন দিক নীচু হইলে বুদ্‌বুদ বাম দিকে সরে। স্পিরিট লেভেলের তলদেশ অনুভূমিক হইলে বুদ্‌বুদ বাঁকা নলটির ঠিক মধ্যভাগে (অর্থাৎ সর্বোচ্চে) আসে। এই মধ্যভাগ একটি দাগ দ্বারা বা দুইটি দাগের মধ্যবর্তী স্থান দ্বারা সূচিত করা থাকে।

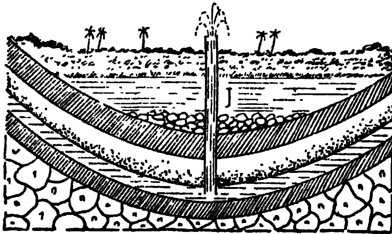


চিত্র ৭৪

১২৫। **মিউনিসিপালিটির জলসরবরাহ-ব্যবস্থা**:—

এইরূপ কাজে নদী বা হ্রদ হইতে জল লইয়া উহা পরিষ্কৃত করিয়া পাম্পের সাহায্যে এক উচ্চ জলাধারে তুলিয়া রাখা হয়। এই জলাধার হইতে প্রধান নল ও নানা শাখা নলের সাহায্যে প্রতি বাড়ির কলে জল পৌঁছাইয়া দেওয়া হয়। যে-কোন কলে জলের চাপ নির্ভর করে ঐ কল হইতে জলাধারের জলশীর্ষের উচ্চতা (water-head) দ্বারা। এইজন্য বহুতলা বাড়ির একতলার কলে জলের চাপ সর্বাপেক্ষা বেশি হয়। জলাধার যত উঁচু তত উঁচু পর্যন্ত কলে জল আসিবার কথা, কারণ তরল আপন উচ্চতা খুঁজিয়া লয়। জলবাহী নলে কিছু শক্তি ক্ষয় হয় বলিয়া কোন কলে জলের প্রকৃত চাপ জলাধারের জলশীর্ষ অনুযায়ী যতটা হওয়া উচিত প্রকৃতপক্ষে সর্বদা তাহা অপেক্ষা কম হয়।

১২৬। আর্টেজীয় কূপ (Artesian Well) :—ভূপৃষ্ঠের বিভিন্ন স্তর আছে। অন্তঃস্থ স্তরগুলি প্রায়ই অবতল আকারের হইয়া থাকে। যে স্তরগুলি শ্লেট, মাটি, ইত্যাদির দ্বারা গঠিত উহাদের মধ্য দিয়া জল যাইতে পারে না। বালি, নুড়ি, ইত্যাদির মধ্য দিয়া জল যাইতে পারে। দুইটি অপ্রবেশ্য স্তরের মধ্যে একটি প্রবেশ্য স্তর থাকিলে বৃষ্টির জল ক্রমশঃ এই প্রবেশ্য স্তরে আসিয়া জমা হয়। প্রবেশ্য স্তরের অলিপথটি অনেকটা U-টিউবের মত (চিত্র ৭৫)। ইহার দুই দিকের জলের উচ্চতা খুব বেশি হইয়া গেলেও মধ্যের জল অপ্রবেশ্য স্তর ভেদ করিয়া উপরে উঠিতে পারে না। পৃথিবীপৃষ্ঠ হইতে একটি গর্ত খুঁড়িয়া অপ্রবেশ্য স্তর ভেদ করিয়া প্রবেশ্য স্তরের অলিপথ পর্যন্ত পৌছাইতে পারিলেই জল গর্তমুখ দিয়া স্বতঃই উৎসারিত হইতে থাকে। ফ্রান্সের আর্টয়েজ্ নামক স্থানে এইরূপ কূপ প্রথম খনন করা হইয়াছিল বলিয়া ইহাকে আর্টেজীয় কূপ বলা হয়। উষ্ণপ্রস্রবণ গরম জলের একটি আর্টেজীয় কূপবিশেষ।



চিত্র ৭৫

সাধারণ টিউবওয়েলের নলও মাটির নীচের প্রবেশ্য স্তরে সঞ্চিত জল পর্যন্ত পৌছাইয়া দেওয়া হয়, কিন্তু আর্টেজীয় কূপের জলশীর্ষ হইতে সাধারণ টিউবওয়েলের জলশীর্ষ অনেক কম এবং এই জলশীর্ষের উপরিতল ভূপৃষ্ঠ পর্যন্ত পৌছায় না। তাই এইসব ক্ষেত্রে জল ভূপৃষ্ঠ পর্যন্ত স্বতঃ উৎসারিত হয় না, পাম্পের (হাতল-চালিত বা মোটর-চালিত) সাহায্যে ভূপৃষ্ঠের উপরে উঠাইতে হয়।

Examples

1. *Neglecting the loss of pressure in the transit, calculate what head of water is necessary to produce a pressure of 200 lbs./in.² in the street mains.*

উত্তর : 1 ঘনফুট জলের ভর=62.5 পাউণ্ড। 1 ফুট-পরিমিত জলশীর্ষের প্রযুক্ত চাপ=62.5 পাউণ্ড-ভার, প্রতি বর্গফুটে $=\frac{62.5}{144}=0.434$ পাউণ্ড-ভার, প্রতি বর্গইঞ্চিতে। অর্থাৎ, 0.434 পাউণ্ড-ভার প্রতি বর্গইঞ্চিতে, চাপের জন্য প্রয়োজনীয় জলশীর্ষ = 1 ফুট। $\therefore$ 200 পাউণ্ড-ভার, প্রতি বর্গইঞ্চিতে, চাপের জন্য প্রয়োজনীয় জলশীর্ষ $=\frac{200}{0.434}=460.8$ ফুট।

The pressure at the bottom of a well is 2 times that at a depth of 2 ft.; what is the depth of water in the well, if the pressure of the atmosphere is equal to 30 ft. of water?

উত্তর : মনে কর, কূপের জল h ফুট গভীর। কূপের তলাকার চাপ $=(30+h)\ \rho\ g$. ($\rho=$ জলের ঘনত্ব, $g=$ অভিকর্ষজাত ত্বরণ)। 2 ফুট গভীরে চাপ $=(30+2)\ \rho\ g$।

প্রদত্ত সর্তানুসারে, $(30+h)\ \rho\ g=2[(30+2)\ \rho\ g]$:

বা, $30+h=64$; বা, $h=64-30=34$ ফুট।

3. *A plate 10 metres square is placed horizontally 1 metre below the surface of water, when the pressure of the atmosphere above is due to 76 cms. of Hg. What will be the total thrust on the plate? Density of Hg.$=13\cdot6$ gms./c.c.; $g=981$ cms./sec^2.*

উত্তর : বায়ুর চাপ $=h\ \rho\ g=76\times13\cdot6\times981$ ডাইন, প্রতি বর্গ সেন্টিমিটারে। 1 মিটার জলের চাপ $=100\times1\times981$ ডাইন, প্রতি বর্গ সেন্টিমিটারে। 1 মিটার জলের নীচে 10 মিটার বাহুবিশিষ্ট বর্গাকৃতি প্লেটের উপর মোট ধাক্কার বল $=(1000\times1000)\times(76\times13\cdot6+100)\times981$ ডাইন $=10^6\times1\cdot112\times10^6=1\cdot112\times10^{12}$ ডাইন।

4. *At what depth below the surface of water will the pressure be equal to two atmospheres if the atmospheric pressure be 1 megadyne/cm.^{2}? Assume $g=981$ cms./sec^2.*

উত্তর : মনে কর, h হইল নির্ণেয় গভীরতা। h গভীরে চাপ হইবে 2×1 বায়ুমণ্ডল $=2\times1$ মেগাডাইন, প্রতি বর্গ সেন্টিমিটারে $=2\times10^6$ ডাইন, প্রতি বর্গ সেন্টিমিটারে।

প্রদত্ত সর্তানুসারে, $(1\times10^6+h\rho g)=2\times10^6$; or $h\ \rho\ g=10^6$; or $h=\frac{10^6}{\rho g}=\frac{10^6}{1\times981}=$ 1019·36 সেন্টিমিটার।

Exercises

1. The density of sea-water is 1·025 gm./c.c. Find the pressure at a depth 10 ft. below the surface of the sea per square foot area, given that 1 cu. ft. of water weighs 62·5 lbs. [*Ans.*: 640·625 lbs.-wt. per sq. ft.]

2. A rectangular tank 6 ft. deep, 8 ft. broad, 10 ft. long is filled with water. Calculate the thrust on each of the sides and on the base, given that 1 cu. ft. of water weighs 62·5 lbs.

[*Ans.*: Base thrust, $9\cdot6\times10^5$ poundals; side-thrust (shorter side), $2\cdot88\times10^5$ poundals; side-thrust (longer side), $3\cdot6\times10^5$ poundals]

3. A hole, 6 in. square, is made in a lock-gate at a depth 20 ft. below the surface of water. If the density of the water is 1·02 gm./c.c., find the force that must be exerted on a plate to prevent the water from going out by holding the plate against the hole, given 1 cu. ft. of water weighs 62·5 lbs. [*Ans.*: 318·75 lbs.-wt. approx.]

4. A vertical tube 3 ft. long and having an internal diameter of 1 in. is filled with equal volumes of water and mercury. Assuming that the weight of mercury is 13·56 times that of water, calculate the pressure in lbs /in². at the bottom of the tube. What is the weight of water in the tube ?

[*Ans.*: 9·48 lbs./in².; 0·51 lb.]

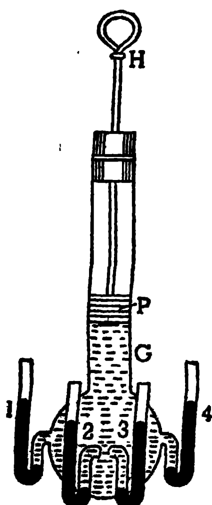
5. A *U*-tube contains some mercury at the bottom. Water is poured into one limb and kerosene oil into the other. When the heights of the columns are respectively 8 cms. and 10 cms., the mercury stands at the same level in both the limbs. Find the density of oil (density of water=1 gm./c. c.).

[*Ans.*: Density of kerosene oil =0·8 gm./c.c.]

6. In a *U*-tube the right-hand arm is filled with mercury while the other is filled with a liquid of unknown density. The height of the column of liquid above the mercury in the left-hand arm is 14 cm. and the difference of mercury levels in the two limbs is 2 cms. Calculate the density of the unknown liquid.

[*Ans.*: 1·9 gm./c.c.]

১২৭। তরল পদার্থের মধ্যে চাপের সঞ্চালন (Transmission of Liquid Pressure):—তরল পদার্থের কোন বিন্দুতে চাপের পরিবর্তন হইলে ঐ পরিবর্তন সর্বদিকে সমান মানে হয়। এই সম্বন্ধে প্যাস্‌কেলের সূত্র (Pascal's law) বলে : 'আবদ্ধ (confined) তরল পদার্থের যে কোন স্থানে কোন চাপ প্রয়োগ করা হইলে ঐ চাপ মানে অপরিবর্তিত থাকিয়া (with undiminished force per unit area) তরলের মধ্য দিয়া সর্বদিকে সঞ্চালিত হয় এবং তরল আধারের উপর সর্বত্র লম্বভাবে ক্রিয়া করে।'



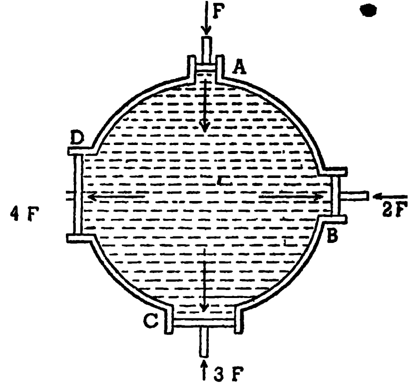
চিত্র ৭৬

নিম্নলিখিত পরীক্ষাদুইটি প্যাস্‌কেলের সূত্র বুঝিতে সাহায্য করিবে :—

প্রথম পরীক্ষা।—চিত্র ৭৬-এ একটি শক্ত কাঁচের ফ্লাস্ক দেখান হইয়াছে। ইহাতে চারিটি (1, 2, 3, 4) উপরে মুখ-খোলা নল লাগান আছে। একটি পিস্‌টন (*P*) ফ্লাস্কটির চোঙের (*G*) মধ্যে জলনিরুদ্ধভাবে ওঠানামা করিতে পারে। *H* হইতেছে পিস্‌টনটির হাতল। ফ্লাস্কটি জলে ভরা। প্রত্যেকটি নলের মধ্যে কিছু পারা ভরিয়া দেওয়া হইয়াছে। তাই প্রতিটি নলই এক একটি চাপমান যন্ত্রের কাজ করে।

পিস্‌টনটি ভিতর দিকে কিছুটা ঠেলিলে দেখা যায় যে, পারা প্রত্যেক নলেই সমান উঁচুতে উঠে। ইহা দ্বারা প্রমাণিত হয় যে, চাপ সর্বদিকে সমভাবে সঞ্চালিত হয়।

দ্বিতীয় পরীক্ষা।—একটি গোলাকার পাত্র চিত্র ৭৭-এ দেখান হইয়াছে ইহার চারিটি মুখে (A, B, C ও D) চারিটি জলনিরুদ্ধ পিস্‌টন পাত্রের পৃষ্ঠের সহিত উল্লম্বভাবে খাটানো আছে। অর্থাৎ, প্রত্যেকটি পিস্‌টনেরই অক্ষ গোলকের কেন্দ্র অভিমুখী। B-মুখের ক্ষেত্রফল A-র দ্বিগুণ, C-র ক্ষেত্রফল A-র তিন গুণ এবং D-র ক্ষেত্রফল A-র চতুর্গুণ। পাত্রটি জলে পূর্ণ কর। A-মুখের পিস্‌টন ভিতর দিকে ঠেলিলে অন্য তিনটি পিস্‌টন বাহির দিকে যাইবে।



চিত্র ৭৭

ইহাতে বুঝা যায় যে, সঞ্চালিত চাপ পাত্রগাত্রের লম্ব দিকে কাজ করে।

পিস্‌টন A-কে ভিতর দিকে F-বলে ঠেলিলে, B-পিস্‌টনকে স্থির রাখিতে হইলে উহার উপর বাহির হইতে ভিতর দিকে $2F$ বল প্রয়োগ করিতে হইবে। আর C-পিস্‌টনকে স্থির রাখিতে $3F$ বল ও D-কে স্থির রাখিতে $4F$ বল বাহির হইতে ভিতর দিকে প্রয়োগ করিতে হইবে।

$$\text{পিস্‌টন } A\text{-র উপর চাপ} = \frac{\text{বল, } F}{\text{ক্ষেত্রফল, } A} = \frac{F}{A};$$

$$\text{পিস্‌টন } B\text{-র উপর চাপ} = \frac{2F}{\text{ক্ষেত্রফল, } B} = \frac{2F}{2A} = \frac{F}{A};$$

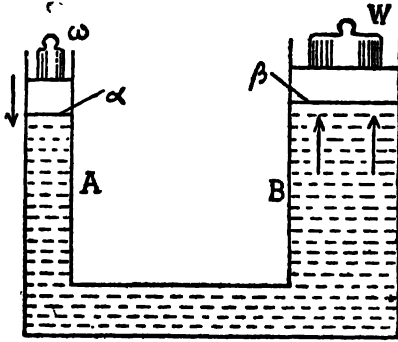
$$\text{পিস্‌টন } C\text{-র উপর চাপ} = \frac{3F}{\text{ক্ষেত্রফল, } C} = \frac{3F}{3A} = \frac{F}{A};$$

$$\text{পিস্‌টন } D\text{-র উপর চাপ} = \frac{4F}{\text{ক্ষেত্রফল, } D} = \frac{4F}{4A} = \frac{F}{A}।$$

অর্থাৎ, তরলে চাপ মানে অপরিবর্তিত থাকিয়া সর্বদিকে সঞ্চালিত হয়।

১২৮। বল-বৃদ্ধিকরণ নীতি (Principle of Multiplication of Force) :—বস্তুতঃ, পূর্বোক্ত দ্বিতীয় পরীক্ষাটি বল-বৃদ্ধিকরণের একটি দৃষ্টান্ত বিশেষ।

বিভিন্ন পিস্‌টনের উপর চাপ সমান বটে, কিন্তু উৎপন্ন বল? ইহা পিস্‌টনের ক্ষেত্রফলের আনুপাতিক। এই নীতিটির নাম বল-বৃদ্ধিকরণ নীতি।



চিত্র ৭৮

বল-বৃদ্ধিকরণ নীতি প্যাস্‌কেলের সূত্র হইতে একটি আলাদা নীতি বা সূত্র নহে। ইহা একটি প্রায়োগিক কৌশল মাত্র। প্যাস্‌কেলের চাপ-সঞ্চালন নীতিই এই কৌশল-প্রয়োগের ভিত্তি। এক বাহু সরু এবং এক বাহু মোটা এইরূপ U-আকারের একটি নলে তরল ভর্তি করিয়া সরু নলের তরলের উপর বল প্রয়োগ করা হইলে তরলে যে চাপ সৃষ্টি হয় তরলের মধ্য দিয়া অপরিবর্তিত মানে সঞ্চালিত হওয়ার ফলে তাহা মোটা বাহুর তরলের উপর ঊর্ধ্ব দিকে এক বল উৎপন্ন করে। এই বল মোটা বাহুর ক্ষেত্রফল সরু বাহুর ক্ষেত্রফলের যতগুণ বেশি ততগুণ বেশি হয়।

মনে কর, A ও B (চিত্র ৭৮) একটি তরল পদার্থে পূর্ণ U-আকারের পাত্রের দুইটি বাহু। A-র মুখের প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল α ও B-র মুখের প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল β। β বড়, α ছোট। A এবং B-র মুখে বায়ু নিরুদ্ধভাবে দুইটি পিস্‌টন বসান আছে।

মনে কর, A মুখের পিস্‌টনের উপর একটি ভর চাপান হইয়াছে যাহার ভার হইল w। তাহা হইলে, উহা দ্বারা প্রযুক্ত নিম্নমুখী চাপ হইবে,

$$P=\frac{\text{নিযুক্ত বল}}{\text{ক্ষেত্রফল}}=\frac{w}{\alpha}\text{।}$$

প্যাস্‌কেলের সূত্র অনুযায়ী এই চাপ B-এর মুখে খাটানো পিস্‌টনের উপর ঊর্ধ্ব দিকে সমান মানে কাজ করিবে। অর্থাৎ, B-র উপরও চাপ হইবে P। অতএব B-র পিস্‌টনের উপর ঊর্ধ্ব দিকে যে বল কার্য করিবে তাহা হইবে, $W=P\times$ ক্ষেত্রফল

$$=P\times\beta=\frac{w}{\alpha}\times\beta=w\times\frac{\beta}{\alpha} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (১)$$

অথবা, $$\frac{W}{\beta}=\frac{w}{\alpha} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (২)$$

অতএব দাঁড়াইল এই যে, বাম মুখে প্রযুক্ত বল w, ডাইন মুখে W বলের সৃষ্টি করিবে। $\beta/\alpha > 1$ বলিয়া $W > w$ হইবে। এই কৌশলই হইল বল-বৃদ্ধিকরণ। সংকেতসূত্র (২) হইতে বুঝিতেছ যে, উভয় মুখে চাপ সমান, কিন্তু বল বিভিন্ন। প্যাস্কেলের সূত্র চাপের সমতার কথা বলে কিন্তু বুঝিবার বিষয় এই যে, এই সূত্রের সাহায্যে বল-বৃদ্ধিকরণ ঘটান যায়।

১২৩। হাইড্রলিক প্রেস (বা, ব্র্যামা-র প্রেস) (Hydraulic Press or Bramah's Press):—দ্রব্য সংনমিত করা, পেষণ করা, প্রভৃতি কাজে এই যন্ত্র ব্যবহৃত হয়। এই যন্ত্রে অল্প বল প্রয়োগ করিয়া এক বেশি বল সৃষ্টি করা যায়। ইহার মধ্যে কোন তরল পদার্থ (সাধারণতঃ তেল, বা জল) ভরা থাকে। চিত্র ৭৯-এ A হইল একটি চোঙজাতীয় ছোট আধার এবং B একটি বড় চোঙের আধার। চোঙ B-তে একটি মোটা পিস্‌টন (R) খাটান আছে। ইহাকে র‍্যাম্ (ram) বলে।

চিত্র ৭৯—হাইড্রলিক প্রেস।

চোঙ A-তে আছে একটি সরু পিস্‌টন। তরল পদার্থ যাহাতে কোনক্রমে বাহির হইতে না পারে, সেইজন্য H_1 এবং H_2-তে উপযুক্ত প্যাকিং ব্যবস্থা (package glands) করা হয়। এই ব্যবস্থা-দুইটির প্রথম প্রবর্তন করেন ইঞ্জিনীয়ার ব্র্যামা। এইজন্য হাইড্রলিক প্রেসকে কখনও কখনও ব্র্যামা-র প্রেস বলা হয়।

সরু পিস্‌টনটি একটি লিভার (L) দ্বারা চালিত হয়। ইহাতে যান্ত্রিক সুবিধা

(mechanical advantage) বাড়ে। লিভারের মুক্তপ্রান্ত P-তে নিম্ন দিকে বল প্রয়োগ করিলে K-তে পিস্‌টনের উপর নিম্ন দিকে এক বল কার্য করে *। ইহাতে A-র তরল পদার্থের উপর চাপ বর্ধিত হয় এবং ফলে b ভাল্‌ভ সামান্য খুলিয়া যায় ও ঐ বর্ধিত চাপ B-র তরল পদার্থে সঞ্চালিত হয়। ফলে মোটা পিস্‌টনটি (R) উপরের দিকে উঠে ও ইহার উপরে রক্ষিত দ্রব্যকে একটি কড়িকাঠের (girder) পিঠে (G) চাপিয়া সংনমিত বা পিষ্ট করে।

লিভার L উঁচু করিলে, R-এর উপরের দ্রব্যের চাপে R নামিয়া আসিতে চায় বলিয়া ভাল্‌ভ b এবার বন্ধ হইয়া যায়। তখন ভাল্‌ভ a সামান্য খুলিয়া গিয়া তরল পদার্থ তরলাধার (reservoir) S হইতে A-র মধ্যে প্রবেশ করে।

যদি কোন কারণে B-তে তরলের চাপ খুব বেশি বাড়িয়া বিপজ্জনক হইয়া উঠে, তাহা হইলে সেফ্‌টি ভাল্‌ভ (safety valve) J খুলিয়া যায় ও তরল পদার্থ এক অলিপথে তরলাধার S-এ উপনীত হয়। এই অলিপথটি চিত্রে দেখান হয় নাই।

এক দফা কাজ শেষ হইলে কল C খুলিয়া দেওয়া হয় এবং B-র উচ্চচাপের তরল তরলাধার S-এ ফিরিয়া যায়।

হাইড্রলিক প্রেসের যান্ত্রিক সুবিধা (mechanical advantage)—মনে কর, বড় চোঙ ও ছোট চোঙের মুখের প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল যথাক্রমে β ও α। লিভারের আলম্ব F-এ। প্রান্ত E ও কব্জা F-এর মধ্যের লম্ব-দূরত্ব y এবং F হইতে কর্মবিন্দু K-র লম্ব-দূরত্ব x।

লিভারের মুক্ত প্রান্তে P বল প্রযুক্ত হইলে, K বিন্দুতে নীচের দিকে যদি P_1 বল কার্য করে, তবে লিভারের কার্যনীতি অনুযায়ী,

$$\frac{P_1}{P}=\frac{y}{x}; \quad \text{বা,} \quad P_1=P\times\frac{y}{x} \qquad \cdots \qquad \cdots \qquad (১)$$

অতএব লিভারের কার্য দ্বারা বল P, $\frac{y}{x}$ গুণ বাড়িবে। $\frac{y}{x}$ হইল বলবৃদ্ধির অনুপাত বা লিভারের যান্ত্রিক সুবিধা।

এই P_1 বল ছোট পিস্‌টনের উপর প্রযুক্ত হইল। ছোট চোঙের তরলে ইহাতে যে চাপ পড়িবে তাহা হইবে $=\frac{P_1}{\alpha}$। প্যাস্‌কেলের নীতি অনুযায়ী, র‍্যাম R-এর উপর যে

* নিযুক্ত বল হইল P। লিভারের মুক্ত প্রান্ত ইহার প্রয়োগবিন্দু, উৎপন্ন বলের কর্মবিন্দু K। ইহা লিভারের কব্‌জা (F) এবং মুক্ত প্রান্তের মধ্যবর্তী, কব্‌জার কাছাকাছি।

চাপ সঞ্চারিত হইবে তাহাও হইবে $=\frac{P_1}{\alpha}$। অতএব র‍্যাম R-এর উপর ঊর্ধ্বদিকে যে বল পড়িবে ঐ বল $(P_2)=$চাপ $\times$ প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল $=\frac{P_1}{\alpha}\times\beta.$

$$\therefore \quad \frac{P_2}{P_1}=\frac{\beta}{\alpha}\text{; বা, }\quad P_2=P_1\times\frac{\beta}{\alpha} \qquad \cdots \qquad \cdots \qquad (২)$$

স্পষ্টতঃই তাহা হইলে হাইড্রলিক প্রেস অংশে বলবৃদ্ধির অনুপাত বা প্রেসের যান্ত্রিক সুবিধা $=\frac{\beta}{\alpha}$।

সমগ্র যন্ত্রের কথা বিবেচনা করিলে P বল বাড়িয়া P_2 হইতেছে। অতএব যন্ত্রটির সামগ্রিক যান্ত্রিক সুবিধা,

$$\frac{P_2}{P}=\frac{P_1}{P}\times\frac{\beta}{\alpha}=\frac{P\times y}{P\times x}\times\frac{\beta}{\alpha}=\left(\frac{y}{x}\right)\times\left(\frac{\beta}{\alpha}\right) \qquad \cdots \qquad (৩)$$

অর্থাৎ, সামগ্রিক যান্ত্রিক সুবিধা=(লিভারের যান্ত্রিক সুবিধা)×(প্রেসের যান্ত্রিক সুবিধা)।

হাইড্রলিক প্রেস কি 'শক্তির সংরক্ষণ-সূত্র' অমান্য করে ?—না, করে না। ইহা প্রমাণ করা হইতেছে। A চোঙ হইতে যতটুকু তরল পদার্থ বিতাড়িত হইবে তাহা B চোঙে প্রবেশ করিবে। তাই, A চোঙের পিস্‌টন l_1 দূরত্ব নামিয়া আসিলে এবং B চোঙের র‍্যাম R, l_2 দূরত্ব উঠিলে,

$$l_1\times\alpha=l_2\times\beta \qquad \cdots \qquad \cdots \qquad (৪)$$

এখন মনে কর যে, লিভারের মুক্ত প্রান্ত l নামিলে, কর্মবিন্দু K, l_1 নামে। তাহা হইলে, $\frac{l}{l_1}=\frac{y}{x}$ ··· (৫), লিভারের জ্যামিতি হইতে।

লিভারের প্রান্তে P বল প্রয়োগ করিয়া বলের দিকে উহাতে l সরণ ঘটানো হইয়াছে। অতএব, লিভার প্রান্তে কৃত কার্যের পরিমাণ$=P\times l$।

ছোট পিস্‌টনের উপর কৃত কার্য$=P_1\times l_1$।

বড় পিস্‌টনের উপর কৃত কার্য$=P_2\times l_2$।

লিভারের উপর কৃতকার্য, $P \times l = P_1 \times \frac{x}{y} \times l$ [সমীকরণ (১) অনুযায়ী]

$= \left(P_1 \times \frac{x}{y}\right) \times \left(l_1 \times \frac{y}{x}\right)$ [সমীকরণ (৫) অনুযায়ী]

$= P_1 l_1$

= ছোট পিস্‌টনের উপর কৃত কার্য

$= P_2 \times \frac{\alpha}{\beta} \times l_1$ [সমীকরণ (২) অনুযায়ী]

$= \left(P_2 \times \frac{\alpha}{\beta}\right) \times \left(l_2 \times \frac{\beta}{\alpha}\right)$ [সমীকরণ (৪) অনুযায়ী]

$= P_2 l_2$ ... (৬)

= বড় পিস্‌টনের উপর কৃত কার্য।

(এই প্রমাণ প্রসঙ্গে পিস্‌টনের ঘর্ষণজনিত অপচয়ের বিষয় ধর্তব্য বিবেচিত হয় নাই) উপরের প্রমাণ হইতে বুঝা যাইতেছে যে, এই যন্ত্র চালাইতে যত কার্য করা হয়, সর্বত্র ঐ পরিমাণ কার্যই মাত্র পাওয়া যায় ; স্বয়ংক্রিয়ায় কোন কার্য সৃষ্টি হয় নাই বা ধ্বংস হয় নাই। অর্থাৎ এই যন্ত্রটিতেও শক্তির সংরক্ষণ-সূত্র অবশ্যই প্রতিপালিত হইতেছে।

যন্ত্রের একপ্রান্তে সামান্য বল প্রয়োগ করিয়া অন্য প্রান্তে তদপেক্ষা অনেক বেশী বল পাওয়া যাইতেছে বটে কিন্তু প্রযুক্ত বলের প্রয়োগবিন্দুর সরণ অধিক, এবং উদ্ভূত বেশী বলটির সরণ হইতেছে অল্প। বল ও সরণের গুণফল অর্থাৎ কার্য বলদুইটির উভয়ের ক্ষেত্রেই সমান।

এইরূপ কথা আছে যে, ক্ষমতা (power) হিসাবে যাহা লাভ হয় দ্রুতি (speed) হানিতে তাহা নষ্ট হয়, বা দ্রুতি যে অনুপাতে কমিয়া যায়, যান্ত্রিক সুবিধা সেই অনুপাতে বাড়ে।* এই যন্ত্রের ক্ষেত্রে প্রমাণ করা হইয়াছে যে, P_2 বল P বল হইতে যত গুণ

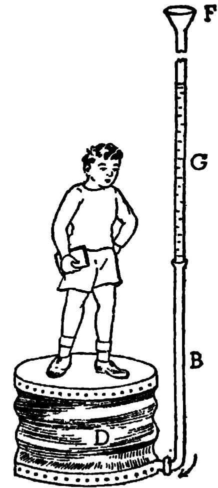
* "What is gained in power is lost in speed", or "mechanical advantage is always gained, at a proportionate diminution of speed".

বেশি, l_2 সরণ l সরণ হইতে তত গুণ কম [সমীকরণ (৬)]। ইহা হইতে উপরোক্ত কথাগুলির তাৎপর্য বুঝা যায়।

১৩০। প্যাস্‌কেল সূত্রের প্রয়োগের কয়েকটি দৃষ্টান্ত :—

(ক) উদ্‌বেলো (Hydrostatic Bellows).—

চিত্র ৮০তে এই যন্ত্রের একটি নমুনা প্রদর্শিত হইয়াছে। ইহাতে শক্ত চামড়ার একটি বেলো (bellows) বা ফাঁপর (*D*) আছে। ইহার মুখের ঘের বেশ বড়। মুখের উপরে একটি পাটাতন বসানো। ফাঁপরটি জলে ভর্তি করা। ফাঁপরটির পার্শ্বে একটি খাড়া সরু দীর্ঘ নল (*BG*) জলনিরুদ্ধভাবে যুক্ত আছে। *D* ও *BG*-র মধ্যে যোগাযোগ পথ আছে। নলের শীর্ষে একটি ফানেল বা চুঙি (*F*) বসানো। ইহার সাহায্যে নলে জল দেওয়া হয়। চিত্রে দেখিতেছ একটি বালক পাটাতনের উপর দাঁড়াইয়া আছে। তাহা হইলে ঐ সরু নলের জল বালকের ওজনকে সাম্যে রাখিয়াছে। ইহা কিরূপে সম্ভব হইল? বস্তুতঃ ইহাতে আশ্চর্যের কিছু নাই। পাটাতনের উপরে ঊর্ধ্বদিকে ধাক্কার বল = পাটাতনের ক্ষেত্রফল × জলের চাপ। এই জলের চাপ নলের জলশীর্ষের আনুপাতিক। খুব কম জলেই সরু নলে জলশীর্ষ বেশ বেশি হয়। *D*-র ক্ষেত্রফল *BF*-র ক্ষেত্রফল অপেক্ষা অনেক বেশি। ফলে পাটাতনের উপর ঊর্ধ্ব দিকে ধাক্কার বল নলে সামান্য জল দিলেই বেশি হয়। তাই পাটাতনের উপর বেশি ভারও এই বলের ক্রিয়ায় সাম্যে থাকে। তাই বলা যায় যে, উদ্‌বেলো যন্ত্র প্যাসকেলের সূত্র অনুযায়ী বল-বৃদ্ধিকরণের একটি দৃষ্টান্ত মাত্র।



চিত্র ৮০

(খ) হাইড্রলিক লিফ্‌ট (Hydraulic lift).—মোটর মেরামতি কারখানায় গাড়ী উপরে উঠাইবার জন্য এই লিফ্‌ট ব্যবহার করা হয়। ইহাতে একটি সরু পিস্‌টনে অল্প বল প্রয়োগ করিয়া কোন তৈলের মাধ্যমে উহার চাপ প্যাস্‌কেলের সূত্রের নীতিতে একটি মোটা পিস্‌টনের উপরে সঞ্চারিত করা হয়। গাড়ীটি থাকে মোটা পিস্‌টনের মাথায়। তাই বলবৃদ্ধির ফলে গাড়ী উপরে উঠানো যায়।

Examples

1. *The diameters of the two pistons of a hydraulic press are 1 in. and 6 in. respectively. What multiplication of force will be produced?*

উত্তর : $\frac{P_2}{P_1} = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{\pi.6^2}{\pi.1^2} = \frac{36}{1} = 36$ । অতএব বল 36 গুণ বৃদ্ধি পাইবে।

2. *A Bramah's press has a piston whose cross-section is 144 sq. in. The cross-section of the pump is 2 sq. in. The shorter arm of the lever working the pump is 1 ft. and the longer one is 4 ft. Calculate the total force obtained when an effort of 175 lbs. is applied at the end of the longer arm.*

উত্তর : সামগ্রিক যান্ত্রিক সুবিধা = (লিভারের যান্ত্রিক সুবিধা) × (প্রেসের যান্ত্রিক সুবিধা)

$= \frac{4}{1} \times \frac{144}{2} = 288$ ।

চূড়ান্ত প্রাপ্ত বল = (প্রযুক্ত বল) × (সামগ্রিক যান্ত্রিক সুবিধা) = 175 × 288 = 50,400 পাউণ্ড-ভার।

Exercises

1. The neck and bottom of a bottle are ½ in. and 4 in. in diameter respectively. If, when the bottle is full of oil, the cork in the neck is pressed with a force of 1 lb.-wt., what force is exerted on the bottom of the bottle?

Ans.; 64 lbs.-wt.

2. In a Bramah's Press the areas of the two plungers are ½ sq. in. and 10 sq. in. respectively. The pump plunger is worked by a lever whose arms are 2 in. and 28 in. If the end of the lever is raised and lowered by 1 ft. at every stroke, find the number of strokes required to raise the press-plunger by 1 in. *Ans.*: 47 times, nearly.

3. The area of the small piston of a hydraulic press is 1 sq. ft. and that of the large piston 20 sq. ft. How much weight can be raised on the large piston by a force of 200 lbs. acting on the small piston? *Ans.*; 4,000 lbs.

সপ্তম পরিচ্ছেদ

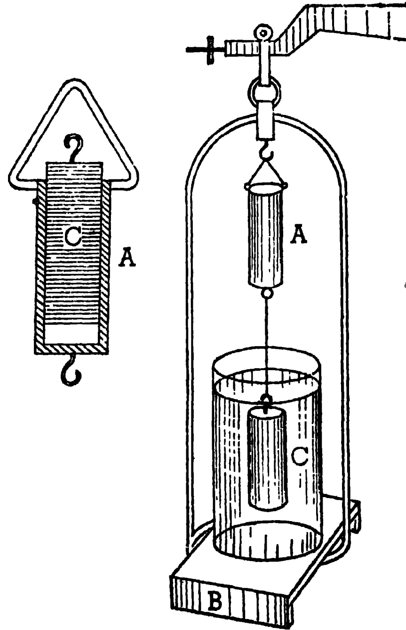
বস্তুর ভাসন (Floatation of Bodies)

আর্কিমিডিসের সূত্র

১৩১। **আর্কিমিডিসের সূত্র ঃ**—কোন বস্তু আংশিক বা সামগ্রিক ভাবে কোন তরল পদার্থে নিমজ্জিত হইলে উহার ভার হ্রাস পাইয়াছে বলিয়া মনে হয় এবং এই আপাত ভার-হ্রাস স্থানচ্যুত তরল পদার্থের ভারের সমান হয়।

১৩২। **আর্কিমিডিসের সূত্রের পরীক্ষা ঃ**—

এই পরীক্ষার জন্য একটি ফাঁপা চোঙ (A) ও একটি নিরেট চোঙ (C) লওয়া হয় (চিত্র ৮১)। নিরেট চোঙটির বাহ্য আয়তন ফাঁপা চোঙটির আভ্যন্তরিক আয়তনের সমান (ইহা চিত্রের বাম দিকে পৃথকভাবে আঁকিয়া বুঝান হইয়াছে)। ফাঁপা চোঙ A-র উপরে একটি ঝুলন বাহু ও তলায় একটি আংটা লাগানো আছে। C-র উপরেও একটি হুক্ যুক্ত আছে। একটি তুলার বাম দিকে ফাঁপা চোঙটি ও উহার তলা হইতে নিরেট চোঙটি ঝুলাইতে হয়। বাম দিকের তুলাপাত্রের উপর দিয়া একটি কাঠের সেতু বসাইয়া উহার উপর একটি বীকার বসান হয়। তুলাপাত্র বা উহার ফ্রেম যেন বীকার বা সেতু স্পর্শ না করে। ফাঁপা চোঙটির তলার আংটা হইতে সূতার সাহায্যে



চিত্র ৮১

নিরেট চোঙটি বীকারের মধ্যে ঝুলান হয়। এইভাবে চোঙটিকে বীকারের মধ্যে বায়ুতে ঝুলন্ত রাখিয়া ডাইন তুলাপাত্রে ক্রমশঃ প্রমাণ ভর যোগ করিয়া তুলাদণ্ডকে

অনুভূমিক অবস্থায় আন। তারপর ধীরে ধীরে বীকারের মধ্যে জল ঢালিতে থাক। নিরেট চোঙটি জলের মধ্যে নিমজ্জিত হইতে থাকিলে লক্ষ্য করিয়া দেখিবে যে, তুলাদণ্ডের ডাইন প্রান্ত ক্রমশঃ নীচে নামিতেছে। ইহার কারণ এই যে, জলের প্লবতার জন্য নিরেট চোঙের আপাত ভার কমে [এই ভার-হ্রাস আপাত-হ্রাস মাত্র। নিরেট চোঙের প্রকৃত ভার কমে না। বীকারটি সরাইয়া লইলে পূর্বের দেওয়া প্রমাণ ভর দ্বারাই তুলাযন্ত্রে পুনরায় সাম্য ফিরিয়া আসে]।

ফাঁপা চোঙটি ধীরে ধীরে জল দ্বারা ভর্তি করিতে থাক। দেখিবে চোঙটি ঠিক ঠিক জলপূর্ণ হইলে তুলাদণ্ড পুনরায় অনুভূমিক অবস্থায় ফিরিয়া আসিয়াছে। ফাঁপা চোঙের মধ্যে নিরেট চোঙের আয়তনের সমান জল ধরে। নিরেট চোঙ জলে নিমজ্জিত হইলে উহা ঐ আয়তনের জলই স্থানচ্যুত করে। অতএব প্রমাণ হয় যে, নিমজ্জিত বস্তুর আপাত ভার-হ্রাস স্থানচ্যুত তরল পদার্থের ভারের সমান।

১৩৩। **তরল পদার্থের প্লবতা :—**কোন কঠিন বস্তু তরল পদার্থে ডুবান হইলে ইহার উপর খাড়া উপর দিকে যে ধাক্কার বল ক্রিয়া করে তাহাকে প্লবতা বলে। জলে নামিলে আমরা নিজেদের হাল্‌কা বোধ করি। এক টুক্‌রা কর্ক জলে ডুবাইয়া ছাড়িয়া দিলে ভাসিয়া ওঠে। তরলের ঊর্ধ্ব দিকে ধাক্কার বল আছে বলিয়াই এরূপ ঘটে।

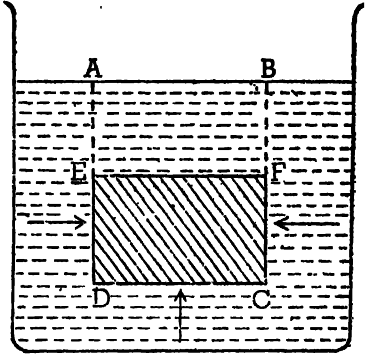
কোন বস্তু তরল পদার্থে ডুবান হইলে উহার চতুষ্পৃষ্ঠের প্রতি বিন্দু তরল পদার্থের চাপের অধীন হয়। এই চাপ প্রতি বিন্দুতে পৃষ্ঠের লম্ব দিকে কাজ করে এবং তরলে ঐ বিন্দুর গভীরতার সহিত আনুপাতিক হয়। প্রমাণ করা যায় যে, কোন নিমজ্জিত বস্তুর উপর ক্রিয়াশীল চাপ যে বল উৎপন্ন করে তাহা বস্তুটির উপর খাড়া উপর দিকে ক্রিয়া করে। কোন তরলের প্লবতা বলিতে এই ঊর্ধ্বমুখী বলটিকেই বুঝায়।

প্লবতার বল নিমজ্জিত বস্তুর ভারের বিপরীত দিকে কাজ করে বলিয়া বস্তুর ভারের আপাত হ্রাস ঘটে। প্লবতা যত বেশী আপাত ভার-হ্রাসও তত বেশী হয়। নিমজ্জিত বস্তু যতটুকু তরল পদার্থ স্থানচ্যুত করে তাহার ভার প্লবতার বলের বা প্লবতার সমান হয়।

১৩৪। **প্লবতার মান :—**

(ক) জ্যামিতিক প্রমাণ।—মনে কর $CDEF$ আয়তক্ষেত্রাকার একটি বস্তু কোন তরল পদার্থে সম্পূর্ণ নিমজ্জিত হইয়াছে (চিত্র ৮২)। ইহাতে বস্তুটির প্রতি বিন্দুতে

পৃষ্ঠের লম্বদিকে তরলে ঐ বিন্দুর গভীরতার সহিত আনুপাতিক এক চাপ পড়িবে। খাড়া পৃষ্ঠ ED-র উপর বাম হইতে ডাইনে মোট প্রযুক্ত বল খাড়া পৃষ্ঠ FC-র উপর ডাইন হইতে বামে মোট প্রযুক্তবলের সমান হইবে। কারণ, যে-কোন গভীরতায় অনুভূমিক দিকে ঐ দুই পৃষ্ঠের উপর ক্রিয়াশীল চাপের মান সমান। অতএব ইহারা অনুভূমিক দিকে পারস্পরিক সাম্য সৃষ্টি করিবে। EF পৃষ্ঠের উপর নিম্নবল = $ABFE$ তরল স্তম্ভের ভার।



চিত্র ৮২

DC পৃষ্ঠের উপর ঊর্ধ্ব চাপ, BC গভীরতায় নিম্নচাপের সমান।

অতএব DC পৃষ্ঠের উপর ঊর্ধ্ব বল = $ABCD$ তরল স্তম্ভের ভার।

অতএব $CDEF$ বস্তুটির উপর ঊর্ধ্ব বল ইহার উপর নিম্ন বল অপেক্ষা অধিক। নিম্ন বল খাড়া নীচের দিকে ও ঊর্ধ্ব বল খাড়া উপর দিকে কাজ করে।

অতএব বস্তুটির উপর খাড়া উপর দিকে একটি লব্ধি-বল কাজ করিবে।

ঐ লব্ধি-বলের মান = ($ABCD$ তরল স্তম্ভের ভার) − ($ABFE$ তরল স্তম্ভের ভার) = $CDEF$ তরল স্তম্ভের ভার = নিমজ্জিত বস্তু দ্বারা স্থানচ্যুত তরল পদার্থের ভার = বস্তুর সমান আয়তনের তরল পদার্থের ভার।

(খ) আংকিক প্রমাণ।—মনে কর, নিমজ্জিত বস্তুর উপরের পৃষ্ঠের তরলের অভ্যন্তরে গভীরতা h ও নীচের পৃষ্ঠের গভীরতা h' (চিত্র ৮২) এবং EF পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল = DC পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল = α ; তরল পদার্থের ঘনত্ব = ρ ; অভিকর্ষজাত ত্বরণ = g।

EF পৃষ্ঠের উপর খাড়া নিম্ন দিকে প্রযুক্ত বল = $\alpha \times h\rho g$।

DC পৃষ্ঠের উপর খাড়া ঊর্ধ্ব দিকে প্রযুক্ত বল = $\alpha \times h'\rho g$।

যে-কোন গভীরতায় অনুভূমিক দিকে খাড়া পৃষ্ঠ ED-র উপর তরলের যে চাপ, FC পৃষ্ঠের উপরেও তাই, কিন্তু বিপরীত দিকে। ফলে, দুই খাড়া পৃষ্ঠের উপর ক্রিয়াশীল বল পরস্পর পরস্পরকে নাকচ করিবে।

তবেই রহিল, EF ও DC-র উপর ক্রিয়ারত দুইটি বল মাত্র। খাড়াভাবে বিপরীত দিকে ইহারা ক্রিয়াশীল।

অতএব, বস্তুটির উপর ক্রিয়াশীল লব্ধি-বল (ঊর্ধ্বদিকে) $=\alpha h'\rho g-\alpha h\rho g=\alpha(h'-h)\rho g$.

আবার, $\alpha(h'-h)=$ বস্তুটির আয়তন $=v=$ বস্তুকর্তৃক স্থানচ্যুত তরল পদার্থের আয়তন।

অতএব, নিমজ্জিত বস্তুর উপর ক্রিয়াশীল ঊর্ধ্ববল $=\alpha(h'-h)\rho g=v\rho g=$ বস্তু কর্তৃক স্থানচ্যুত তরল পদার্থের ভার।

মন্তব্য : বস্তুর প্রকৃত ভার $=W$; প্লবতা $=\alpha(h'-h)\rho g=v\rho g$ ।

অতএব, নিমজ্জিত বস্তুর ভার $=W-\{\alpha(h'-h)\rho g\}=W-v\rho g$ ।

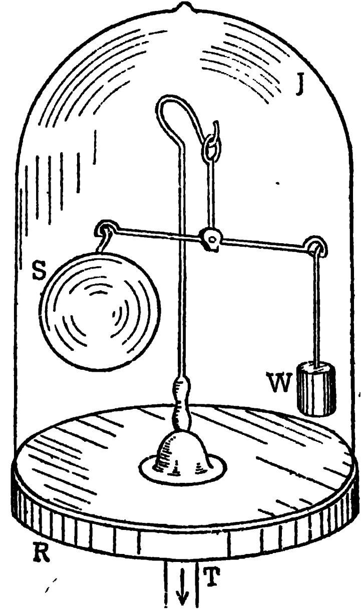
অর্থাৎ, নিমজ্জিত বস্তুর ভারে আপাত-হ্রাস ঘটিবে এবং ভারের আপাত-হ্রাসের পরিমাণ স্থানচ্যুত তরলের ভারের সমান হইবে।

১৩৫। **আর্কিমিডিসের সূত্র গ্যাস সম্বন্ধেও প্রযোজ্য :**—আর্কিমিডিসের সূত্র তরল পদার্থ ও গ্যাসীয় পদার্থ উভয়ের বেলাই সমান সত্য। এইজন্য কোন বস্তুর ভার বায়ুতে মাপিলে যাহা হইবে বায়ুশূন্য কক্ষে মাপা হইলে তাহা অপেক্ষা বেশি হইবে। তাই সংক্ষেপতঃ বলা যায় যে, বস্তুর বায়ুতে ভার শূন্যেতে ভার অপেক্ষা কম। তবে বায়ুতে ভার ও শূন্যের ভারের পার্থক্য খুব কম, কারণ বস্তুকর্তৃক স্থানচ্যুত বায়ুর ভার কম। এইজন্য বস্তুকে সাধারণতঃ বায়ুতে রাখিয়াই উহার ভার মাপিয়া প্রাপ্ত ভারকে আমরা বস্তুটির ভার বলি। ভার আরও নিখুঁতভাবে পাইতে হইলে স্থানচ্যুত বায়ুর ভার (বা বায়ুতে প্লবতা) বস্তুর বায়ুতে আপাতভারের সহিত যোগ দিতে হইবে। ইহাকে প্লবতা-শুদ্ধি (buoyancy correction) বলে।

বায়ুর প্লবতা-সংক্রান্ত পরীক্ষা.—চিত্র ৮৩-তে একটি ব্যারোস্কোপ (Baroscope) যন্ত্রের সাহায্যে কিরূপে বায়ুর প্লবতার পরীক্ষা করা যায় ঐ ব্যবস্থা দেখান হইয়াছে। ইহাতে তুলার একদিকে একটি বড় কর্কের গোলক (S) এবং অন্য দিকে প্রমাণ ভর (W) দিয়া বায়ুর উপস্থিতিতে তুলাদণ্ডের সাম্য অবস্থা (অনুভূমিক) প্রদর্শিত হইয়াছে। সমগ্র সংস্থাটি একটি বায়ু-নিষ্কাশন পাম্পের রিসিভারের মধ্যে আছে। রিসিভারে আছে একটি ধাতব প্লেট (R), এবং তাহার উপর বায়ু-নিরুদ্ধভাবে কাঁচের একটি জার বসান আছে। প্লেটের তলায় একটি নল (T) যুক্ত। নীচের ঐ নল দিয়া পাম্পের

সাহায্যে জার হইতে বায়ু বাহির কর দেখিবে কর্ক S-এর দিক ক্রমে নীচের দিকে নামিয়া যাইবে। জারের মধ্যে বায়ু পুনঃপ্রবেশ করাইলেই দেখিবে তুলার পূর্ব সাম্য ফিরিয়া আসিয়াছে।

ব্যাখ্যা—কর্ক S-এর বায়ুতে আপাতভার প্রমাণ ভর W-এর বায়ুতে আপাতভারের সমান। কিন্তু S-এর আয়তন, W-র আয়তন অপেক্ষা অনেক বেশি। অর্থাৎ, S-এর উপর বায়ুর প্লবতা, W-র উপর প্লবতা অপেক্ষা বেশি। S ও W বায়ুতে সাম্য সৃষ্টি করার কারণ এই যে, S-এর প্রকৃত ভার (বা শূন্যেতে ভার) – S-এর উপর প্লবতা = W-র প্রকৃত ভার – W-র উপর প্লবতা। S-এর উপর প্লবতা > W-র উপর প্লবতা। সুতরাং S-এর প্রকৃত ভার > W-র প্রকৃত ভার। এইজন্য বায়ু সরাইয়া লইলে S নীচের দিকে ঝুলিয়া পড়ে। অতএব কোন বস্তুর প্রকৃত (শূন্যেতে) ভার = বস্তুর বায়ুতে ভার + (বস্তুর উপর প্লবতা – প্রমাণ ভরের উপর প্লবতা)



চিত্র ৮৩

= বস্তুর বায়ুতে ভার + (বস্তুর সমান আয়তনের বায়ুর ভার – প্রমাণ ভরের আয়তনের বায়ুর ভার)।

মন্তব্য : S ও W-তে প্রথমতঃ শূন্যেতে সাম্য প্রতিষ্ঠা করিয়া রাখিলে, তারপর বায়ু প্রবেশ করাইলে দেখিবে যে, W নামিয়া যাইবে ও S উপরে উঠিবে। অর্থাৎ ঘটনা হইবে পূর্বোক্ত পরীক্ষার বিপরীত, কিন্তু কারণ একই।

১৩৬। আর্কিমিডিস-সূত্রের সাধারণ সংজ্ঞা :—"কোন বস্তু তরল বা গ্যাসীয় পদার্থে নিমজ্জিত হইলে উহার ভারের এক আপাত হ্রাস ঘটে এবং ভারের এই আপাত-হ্রাস বস্তুটির দ্বারা স্থানচ্যুত ঐ তরল বা গ্যাসীয় পদার্থের ভারের সমান হয়।"

১৩৭। এক পাউণ্ড তুলা ও এক পাউণ্ড লোহা—ইহাদের মধ্যে কোন্‌টি বেশি ভারী ?

(ক) মনে করা যাক্, ইহাদের প্রত্যেকের প্রকৃত (বা শূন্যেতে) ভার এক পাউণ্ড।

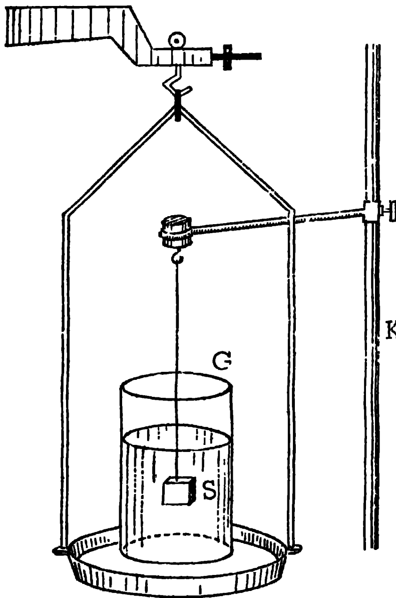
তূলার ঘনত্ব লোহার ঘনত্ব অপেক্ষা অনেক কম বলিয়া, এক পাউণ্ড তূলার আয়তন এক পাউণ্ড লোহার আয়তন অপেক্ষা অনেক বেশি। তাই বায়ুর প্লবতা লোহার অপেক্ষা তূলার উপর অনেক বেশি হইবে। সুতরাং এক পাউণ্ড তূলার বায়ুতে আপাত-ভার, এক পাউণ্ড লোহার বায়ুতে আপাত-ভার অপেক্ষা কম হইবে।

(খ) মনে করা যাক্, ইহাদের প্রত্যেকের বায়ুতে ভার এক পাউণ্ড অর্থাৎ উহাদের বায়ুতে আপাত-ভার সমান। এই ক্ষেত্রে তূলার প্রকৃত ভার লোহার প্রকৃত ভার অপেক্ষা বেশি, কারণ তূলার আয়তন বেশি বলিয়া বায়ুতে তূলার ভার-হ্রাস লোহার ভার-হ্রাস অপেক্ষা বেশি হইবে।

শূন্যে ওজন করিলে প্লবতা থাকিবে না, তাই তূলার প্রকৃত ভার বেশি বলিয়া তুলাদণ্ডের ঐ দিক্ নীচে নামিয়া যাইবে।

১৩৮। তরল পদার্থের প্লবতা সম্বন্ধে কূট-ঘটনার (hydrostatic paradox) **দুইটি উল্লেখযোগ্য দৃষ্টান্ত :—**

(ক) একটি আংশিকভাবে জলপূর্ণ বীকার (G) একটি তুলাপাত্রে রাখিয়া (চিত্র ৮৪) অপর পাত্রে প্রমাণ ভর দিয়া তুলাদণ্ডকে সাম্যে আনা হইল। একটি স্ট্যাণ্ডের (K) অবলম্বন হইতে একগাছা সুতা দিয়া ঝুলাইয়া একটি বস্তুকে (S) ঐ বীকারের জলের মধ্যে নামান হইল। দেখিবে এই দিকের তুলাপাত্র নীচে নামিয়া যাইবে। কেন? বস্তুটিকে বাহিরের খুঁটি হইতে ঝুলান হইয়াছে। অতিরিক্ত ভার পড়িবে কোথা হইতে?



চিত্র ৮৪

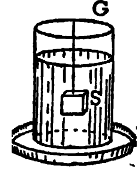
ব্যাখ্যা—নিমজ্জিত বস্তুটির (S) উপর তরল পদার্থ ঊর্ধ্ব দিকে এক ধাক্কা-বল প্রয়োগ করে। ফলে S-এর ভার হ্রাস ঘটিবে এবং খুঁটিটিকে (K) কম ভার সহিতে হইবে। তুলাপাত্রের তাহাতে কি? কিছু হয় বৈ কি! নিউটনের তৃতীয় সূত্র অনুযায়ী

বস্তুটিও (S) সমান মানের এক প্রতিবল সৃষ্টি করিবে। ঐ প্রতিবল নিম্নদিকে জলের উপর এবং শেষ পর্যন্ত তুলাপাত্রের উপর পড়িবে। ইহা একটি অতিরিক্ত ভারের কাজ করিবে। ইহাতে তুলার সাম্য নষ্ট হইবে ও তুলাপাত্রটি নীচে নামিবে।

(খ) কোন তুলার এক দিকের তুলাপাত্রে আংশিকভাবে জলপূর্ণ একটি বীকার (G) রাখা হইল এবং ঐ দিকেরই প্রান্তীয় সীরাপ হইতে একটি বস্তু (S) সুতা দ্বারা বায়ুতে ঝুলান হইল (চিত্র ৮৫)। এখন অন্য তুলাপাত্রে প্রমাণ ভর চাপাইয়া তুলাদণ্ড সাম্য অবস্থায় আনা হইল। তারপর বস্তুটিকে (S) ঝুলন্ত অবস্থায় বীকারের জলের মধ্যে ডুবান হইল। দেখা গেল তুলার সাম্য ইহাতে নষ্ট হইল না।



মনে হইতে পারে যে, বস্তুটিকে (S) বায়ু হইতে জলে নামাইবার ফলে উহার ভার-হ্রাস (আপাত) ঘটিবে এবং তুলাপাত্রটি উপরে উঠিয়া তুলার সাম্য নষ্ট করিবে। কিন্তু বস্তুতঃ তাহা হয় না। তাহা হইলে ইহার কারণ কি ?



চিত্র ৮৫

ব্যাখ্যা।—আর্কিমিডিসের সূত্র অভ্রান্ত। জল অবশ্যই বস্তু S-এর উপর ঊর্ধ্ব দিকে প্লবতার ধাক্কা-বল প্রয়োগ করিয়া ইহার ভার-হ্রাস ঘটাইবে। কিন্তু বস্তু S-ও জলের উপর এবং শেষ পর্যন্ত তুলাপাত্রের উপর (নিউটনের তৃতীয় সূত্র অনুযায়ী) সমান মানের এক প্রতিবল নিম্ন দিকে প্রয়োগ করিবে। বল ও উহার প্রতিবল উভয়েই একই তুলাপাত্রের উপর ক্রিয়া করে। তাই তুলার সাম্য নষ্ট হয় না।

১৩৯। আর্কিমিডিস-সূত্রের প্রয়োগ :—

(ক) নিয়মিত বা অনিয়মিত আকারের কঠিন বস্তুর আয়তন নির্ণয় করা।—মনে কর, একটি বস্তুখণ্ডের বায়ুতে ভার $= W_1$, এবং জলে সম্পূর্ণ নিমজ্জিত অবস্থায় উহার ভার $= W_2$।

অতএব বস্তুটি জলে নিমজ্জিত হইলে উহার ভার-হ্রাস $= W_1 - W_2$

$=$ বস্তুটি দ্বারা স্থানচ্যুত জলের ভার (আর্কিমিডিসের সূত্র অনুযায়ী) $=$ বস্তুটির সমান আয়তনের জলের ভার $= V$ আয়তনের জলের ভার (মনে কর)।

জলের ঘনত্ব d হইলে, V আয়তনের জলের ভার $= Vd$।

সুতরাং $Vd = W_1 - W_2$; বা, $V = \dfrac{W_1 - W_2}{d}$

জলের ঘনত্ব সাধারণতঃ 1 গ্রাম, প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে, বা 62·5 পাউণ্ড, প্রতি ঘনফুটে। অতএব W_1 এবং W_2 পরীক্ষার দ্বারা বাহির করা হইলে বস্তুটির আয়তন (V) বাহির করা যাইবে।

মন্তব্য : এই পরীক্ষাকার্যে বস্তুটি জল অপেক্ষা ভারী হওয়া আবশ্যক। জলের বদলে অন্য কোন তরল পদার্থ ব্যবহার করিয়াও এই পরীক্ষা করা চলে। মনে রাখিতে হইবে যে, বস্তুটি যেন তরল পদার্থে না গলে এবং উহাদের মধ্যে কোন রাসায়নিক প্রক্রিয়া না ঘটে। তরল পদার্থটির ঘনত্ব জানা থাকা দরকার হইবে।

(খ) কঠিন বস্তুর ঘনত্ব নির্ণয় করা।—কোন বস্তুর বায়ুতে ভার $= W_1$; ঐ বস্তুর কোন তরল পদার্থে সম্পূর্ণ নিমজ্জিত অবস্থায় ভার $= W_2$.

মনে কর, বস্তুটির ঘনত্ব ρ এবং ব্যবহৃত তরল পদার্থের ঘনত্ব d.

$$\therefore \text{ বস্তুটির ঘনত্ব, } \rho = \frac{\text{বস্তুর ভার}}{\text{বস্তু আয়তন}} = \frac{\text{বস্তুর ভার}}{\text{বস্তুর দ্বারা স্থানচ্যুত তরল পদার্থের আয়তন}}$$

$$= \frac{\text{বস্তুর ভার}}{\text{বস্তু দ্বারা স্থানচ্যুত তরল পদার্থের ভার} \div \text{তরল পদার্থের ঘনত্ব}}$$

$$= \frac{W_1}{\dfrac{W_1 - W_2}{d}}$$

এই পরীক্ষায় তরল পদার্থ হিসাবে জল লইলে, সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে উহার $d = 1$ গ্রাম, প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে, বলিয়া, $\rho = \frac{W_1}{W_1 - W_2}$ গ্রাম, প্রতি ঘন সে.মি.-তে হইবে।

১৪০। কোন বস্তুর তরল পদার্থে নিমজ্জন (immersion) ও ভাসন (floatation) :—মনে কর, কোন বস্তুর বায়ুতে ভার W_1 এবং জলে ডুবান হইলে উহার উপর প্লবতা $= W'$। W_1 বস্তুটির ভারকেন্দ্র বরাবর খাড়া নীচের দিকে কাজ করে এবং W' স্থানচ্যুত তরল পদার্থের ভারকেন্দ্রের মধ্য দিয়া খাড়া উপর দিকে কাজ করে (স্থানচ্যুত তরল পদার্থের ভারকেন্দ্রকে প্লবতার কেন্দ্রও বলা হয়)। ফলে, নিম্নরূপ তিন রকম অবস্থা দেখা দিতে পারে—

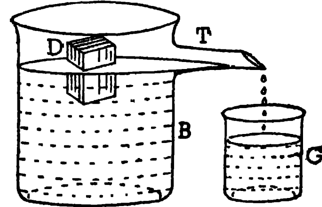
(ক) $W_1 > W'$; এক্ষেত্রে বস্তুটি তরল পদার্থে ডুবিয়া যাইবে। অর্থাৎ, বস্তুর ভার প্লবতা হইতে বেশি হইলে বস্তু তরলে ডুবিয়া যায়।

(খ) $W_1 < W'$; এক্ষেত্রে বস্তুটি আংশিকভাবে নিমজ্জিত হইয়া ভাসিতে থাকিবে। যে অংশটুকু ডুবিয়া থাকিবে তাহার সম আয়তনের তরল পদার্থের ভার বস্তুটির ভারের সমান হইবে।

(গ) $W_1 = W'$; এক্ষেত্রে বস্তুটি তরল পদার্থে সম্পূর্ণ নিমজ্জিত হইয়া তরলের যে-কোন স্থানে স্থির থাকিবে।

১৪১। ভাসমান বস্তুর সাম্যের সর্ত :—(১) বস্তুটি যেভাবেই ভাসন্ত থাকুক না কেন (আংশিক বা পুরা নিমজ্জিত ভাবে) উহার ভার সর্বদাই স্থানচ্যুত তরল পদার্থের ভারের সমান হইবে। (২) বস্তুর ভারকেন্দ্র ও প্লবতার কেন্দ্র একই খাড়া রেখার উপর থাকিবে। এই রেখাকে কেন্দ্ররেখা (centre line) বলা হয়।

১৪২। ভাসমান বস্তুর ক্ষেত্রে স্থানচ্যুত তরল পদার্থের ভার বস্তুটির ভারের সমান হয় (পরীক্ষা) :—চিত্র ৮৬-তে পার্শ্বে নলযুক্ত একটি বীকার দেখিতেছে। নলের (T) মুখের নীচে একটি ছোট বীকার (G) বসান আছে। ঐ নলের মুখ পর্যন্ত B-কে জলে ভর্তি করা হইল। অতিরিক্ত জল দেওয়া হইলে তাহা T-এর মুখ দিয়া গড়াইয়া পড়িবে। মনে কর D বস্তুটিকে পূর্বেই বায়ুতে ওজন করা হইয়াছে। এখন D-কে বীকারের জলের মধ্যে রাখ। ইহা আংশিক নিমজ্জিত হইয়া ভাসিতে থাকিবে। D জলে রাখার ফলে কিছু জল T-এর মুখ দিয়া খালি বীকার G-র মধ্যে পড়িবে। জলসহ বীকার G-র ওজন লওয়া হইলে এবং তাহা হইতে খালি বীকারের ওজন বিয়োগ করিলে স্থানচ্যুত জলের ওজন পাওয়া যাইবে।



চিত্র ৮৬

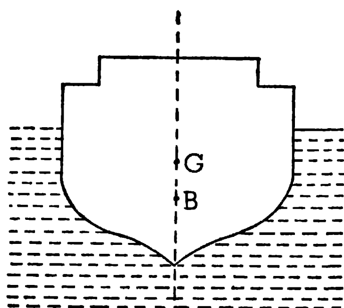
দেখা যাইবে যে, বস্তু D-র বায়ুতে যাহা ওজন স্থানচ্যুত জলের ওজন তাহার সমান।

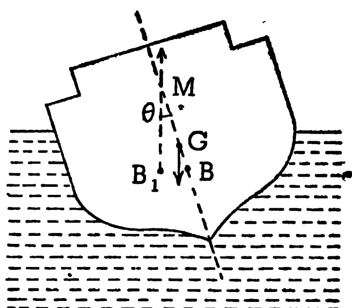
১৪৩। তরলে ভাসমান বস্তুর ভাসন-সাম্য :—কোন বস্তু কোন তরল পদার্থে স্থিরভাবে ভাসমান অবস্থায় থাকিলে নিম্নোক্ত বল দুইটি ইহার উপর কাজ করিবে—

(১) বস্তুটির ভার (W_1) উহার ভারকেন্দ্র G-র [চিত্র ৮৭ (ক)] মধ্য দিয়া খাড়া, নীচের দিকে ক্রিয়া করে ;

(২) প্লবতার বল (W') স্থানচ্যুত তরল পদার্থের ভারকেন্দ্র (বা প্লবতাকেন্দ্র) B-র মধ্য দিয়া খাড়া উপর দিকে ক্রিয়া করে।

বস্তুটিকে স্থির থাকিতে হইলে W_1 ও W'-কে সমমানের এবং বিপরীতমুখী হইতে হইবে এবং উহাদিগকে একই সরলরেখায় কাজ করিতে হইবে।





(ক) চিত্র ৮৭ (খ)

ভাসনের সুস্থিরতা—চিত্র ৮৭ (ক)তে কোন তরলে স্থিরভাবে ভাসমান একটি বস্তু দেখান হইয়াছে। G বস্তুটির ভারকেন্দ্র এবং ভাসমান বস্তুটির স্থির অবস্থায় স্থানচ্যুত তরলের প্লবতাকেন্দ্র হইল B। GB রেখা খাড়া হইবে। এই GB রেখাটিকে কেন্দ্ররেখা (centre line) বলে। চিত্র ৮৭ (খ) তে কোন বাহ্য বলের তাড়নায় বস্তুটি হেলিয়া গিয়াছে দেখান আছে। ফলে প্লবতার কেন্দ্র B_1-এ সরিয়া গিয়াছে এবং কেন্দ্ররেখা খাড়া দিকের সহিত θ কোণ করিয়াছে। বস্তুর ভার G-র মধ্য দিয়া খাড়া নীচের দিকে কাজ করে। প্লবতার বল এখন B_1-এর মধ্য দিয়া খাড়া উপর দিকে কাজ করিবে। ইহারা এখন আর একই সরলরেখায় অবস্থিত নয় বলিয়া একটি কাপল্ উৎপন্ন করিবে। এই কাপল্ হেলানো বস্তুটিকে উহার সাম্যের অবস্থায় পুনঃপ্রতিষ্ঠিত করিতে পারিবে কি না তাহার দ্বারাই ঠিক হইবে যে, বস্তুটির ভাসন সুস্থির কি অ-সুস্থির।

(১) নতুন প্লবতার কেন্দ্রের (B_1এর) মধ্য দিয়া যে খাড়া রেখা গিয়াছে তাহা কেন্দ্ররেখা BG-কে G-র উপরে ছেদ করিলে, কাপল্‌টি বস্তুটিকে হেলানো দিকের উল্টো

দিকে ঘুরাইয়া সাম্যে ফিরাইয়া আনিবে। এইরূপ ক্ষেত্রে, পূর্বের স্থিরতা (বা সাম্য) সুস্থির ছিল বলা হয়।

(২) নতুন প্লবতার কেন্দ্রের (B_1-এর) মধ্য দিয়া যে খাড়া রেখা গিয়াছে তাহা কেন্দ্ররেখা BG-কে G-র নীচে ছেদ করিলে, কাপল্‌টি বস্তুটিকে হেলানো দিকেই আরও ঘুরাইয়া উহাকে উল্টাইয়া দিবে। বস্তুটি পূর্বের সাম্য পুনঃ ফিরিয়া পাইবে না। এইরূপ স্থিরতা বা সাম্যকে অ-সুস্থির সাম্য বলে।

মন্তব্য ঃ B_1-এর মধ্য দিয়া টানা খাড়া রেখা কেন্দ্ররেখাকে (BG) যে বিন্দুতে (M) ছেদ করে তাহাকে **মেটাকেন্দ্র** (metacentre) বলে। সাধারণতঃ জাহাজের তলায় কতকগুলি ভারী ভর রাখিয়া জাহাজের ভারকেন্দ্র যাহাতে উহার মেটাকেন্দ্রের নীচে থাকে ঐ ব্যবস্থা করা হয়। ইহাতে জাহাজের ভাসন-সুস্থিরতা (stability of floatation) বাড়ে। এইরূপ কাজে ব্যবহৃত ভরকে ব্যালাস্ট (ballast) বলে। যে কাপল্‌ হেলানো জলযানকে আবার সোজা করে বা ক্ষেত্রবিশেষে আরও হেলাইয়া দেয় তাহার মোমেন্ট = জলযানের ভার $W \times GM \times \sin\ \theta$। জাহাজ-নির্মাণ এইরূপ নক্‌সা মত করা হয় যে, θ কোণ কখনও যেন $15°$র বেশি না হয়।

১৪৪। **তরলে ভাসন্ত বা নিমজ্জিত বস্তুর ঘনত্বের বিচার :**—মনে কর যে, d ঘনত্বের কোন তরল পদার্থের মধ্যে ρ ঘনত্বের এবং V আয়তনের একটি কঠিন বস্তু রাখা হইয়াছে। বস্তুটি সম্পূর্ণ নিমজ্জিত হইলে স্থানচ্যুত তরল পদার্থের ভার $= d \times V$ হইবে। বস্তুটির ভার $= \rho \times V$। অতএব অনুচ্ছেদ ১৪০ অনুযায়ী,

(১) $\rho V > dV$; অর্থাৎ $\rho > d$ হইলে বস্তুটি তরল পদার্থে ডুবিয়া যাইবে ;

(২) $\rho < d$ হইলে বস্তুটি আংশিকভাবে নিমজ্জিত হইয়া তরলে ভাসিতে থাকিবে ;

(৩) $\rho = d$ হইলে বস্তুটি সম্পূর্ণভাবে নিমজ্জিত হইয়া তরল পদার্থের যে-কোন স্থানে স্থির হইয়া থাকিবে।

ভাসমান বস্তুর ক্ষেত্রে।—কোন ভাসমান বস্তুর ক্ষেত্রে স্থানচ্যুত তরলের আয়তন V হইলে, (ভাসনের সর্ত অনুযায়ী, বস্তুর ভার = স্থানচ্যুত তরল পদার্থের ভার বলিয়া), $\rho \times V = d \times v$ হইবে ;

অর্থাৎ, $\frac{v}{V} = \frac{\rho}{d}$ হইবে।

$$\text{অর্থাৎ,}\quad \frac{\text{বস্তুর নিমজ্জিত অংশের আয়তন}}{\text{সমগ্র আয়তন}} = \frac{\text{বস্তুর ঘনত্ব}}{\text{তরল পদার্থের ঘনত্ব}}।$$

১৪৫। কয়েকটি ভাসমান বস্তুর দৃষ্টান্ত ঃ—এমন হইতে পারে যে, একটি বস্তু কোন তরল পদার্থে ভাসে অথচ অন্য তরল পদার্থে ডুবিয়া যায়। যেমন, একটি লোহার গোলক জলের মধ্যে ডুবিয়া যায় কিন্তু পারার মধ্যে ভাসে। তেল জলে ভাসে কিন্তু কোহলে ডুবিয়া যায়। মোম জলে ভাসে কিন্তু তরল ইথারে ডুবিয়া যায়। কোন বস্তু কোন্ তরলে ডুবিবে এবং কোন্ তরলে ভাসিবে তাহা বস্তুর ঘনত্ব এবং তরলের ঘনত্বের উপর নির্ভর করে। তাই এইসব ক্ষেত্রে ঘনত্বই হইল মূল বিষয়।

(ক) বরফ জলে ভাসে কেন?—কারণ, বরফের ঘনত্ব জলের ঘনত্ব অপেক্ষা কম। একগ্রাম জল 0° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায় এক ঘন সেন্টিমিটার আয়তন অধিকার করে, অর্থাৎ, জলের ঘনত্ব 1 গ্রাম, প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে। এক গ্রাম বরফ কিন্তু 0° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায় 1.09 ঘন সেন্টিমিটার আয়তন অধিকার করে। অর্থাৎ, বরফের ঘনত্ব$=\dfrac{1}{1{\cdot}09}=0{\cdot}92$ গ্রাম, প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে। অতএব এক ঘন সেন্টিমিটার জল জমিয়া বরফ হইলে আয়তন 0.09 ঘন সে.মি., অথবা 9%, বাড়িয়া যায়। অর্থাৎ, 0° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায় 11 আয়তনের জল 12 আয়তনে পরিণত হয়।

অতএব, $\dfrac{\text{জলে বরফের নিমজ্জিত আয়তন}}{\text{বরফের মোট আয়তন}}=\dfrac{v}{V}=\dfrac{\text{বরফের ঘনত্ব}}{\text{জলের ঘনত্ব}}=\dfrac{\rho}{d}$।

$$\text{অতএব, জলে বরফের নিমজ্জিত অংশ, } v=\frac{\rho}{d}\times V=\frac{1/1{\cdot}09}{1}\times V=\tfrac{11}{12}V\text{।}$$

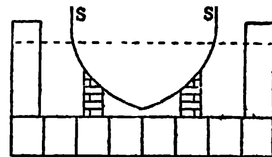
অতএব, ভাসমান বরফের আয়তন $\frac{11}{12}$ অংশ, জলের নীচে থাকিবে এবং $\frac{1}{12}$ অংশ জলের উপর থাকিবে।

(খ) লোহার জাহাজ জলে ভাসে কেন?—একতাল লোহা সম আয়তনের জল অপেক্ষা ভারি বলিয়া সহজেই জলের মধ্যে ডুবিয়া যায়। কিন্তু লৌহনির্মিত জাহাজ জলে ভাসে কেন? কারণ, জাহাজ লোহার পাতের একটি ডোঙা, ইহার খোলের ভিতরটা ফাঁপা। ইহার তলার পৃষ্ঠ খুব বিস্তৃত করিয়া করা হয়। জলে নামাইলে জাহাজটি বিপুল আয়তনের জলকে স্থানচ্যুত করে। সর্বাপেক্ষা বেশি যে ভার বহন করার জন্য উহা তৈয়ারি করা হয়, ঐ ভার চাপান হইলে গাত্রে চিহ্নিত একটি নির্দিষ্ট রেখা

পর্যন্ত জাহাজ জলে নিমজ্জিত হয়। এই রেখাটিকে প্লিম্‌সল্ রেখা (Plimsoll line) বলে।* জল এই রেখা স্পর্শ করিলে পর জাহাজে আর অতিরিক্ত বোঝা চাপানো আইনবিরোধী। জাহাজের খোলে যথেষ্ট ব্যালাস্ট রাখা হয়। ইহার ফলে জাহাজের ভারকেন্দ্র খুব নীচে থাকে। জাহাজের গড়ন এমনভাবে করিতে হয় যাহাতে জাহাজটি 15° পর্যন্ত হেলিলে প্লবতার কেন্দ্রের মধ্য দিয়া টানা খাড়া রেখা কেন্দ্ররেখাকে সর্বদা ভরকেন্দ্রের উপরে ছেদ করে। ভাসনের অবস্থা সুস্থির ও নিরাপদ রাখার জন্য ইহা প্রয়োজন। জাহাজের ভারবহন-ক্ষমতা সাধারণতঃ টনে (ton) প্রকাশ করা হয়। যত টন মাল খালি জাহাজে চাপাইলে জাহাজটি প্লিম্‌সল্ লাইন পর্যন্ত জলে ডুবিবে তত টন হইল জাহাজের ভারবহন-ক্ষমতা, বা টনেজ (tonnage) বা টনত্ব; একটি বড় জাহাজের ভারবহন-ক্ষমতা 60,000 টন এমন কি উহার অধিকও হইতে পারে।

মন্তব্য ঃ নৌশাস্ত্রে জাহাজটি '···ফুট জল টানিতে পারে' (drawing···ft. of water) এবং **'জলরেখা এলাকা'** (waterline area)—এই দুইটি কথা প্রায়ই ব্যবহার করা হয়। 'জাহাজটি ৩০ ফুট জল টানিতে পারে' বলিলে বুঝায় এই যে, জাহাজটির তলা (bottom) হইতে জলপৃষ্ঠের খাড়া উচ্চতা ৩০ ফুট। জলপৃষ্ঠ কোন জাহাজকে যে বেষ্টনী রেখায় স্পর্শ করে উহা দ্বারা বেষ্টিত সমতল ক্ষেত্রের ক্ষেত্রফলকে ঐ জাহাজের **'জলরেখা এলাকা'** বলে। জাহাজের খোলের আকৃতি নীচের দিকে ক্রমে সরু। তাই জাহাজ যত বেশি ডুবিতে থাকে 'জলরেখা এলাকা' তত বাড়িতে থাকে। তবে প্লিম্‌সল্ রেখার সামান্য উপরে বা নীচে জলরেখা এলাকা মোটামুটি সমানই থাকে।

(গ) ভাসমান ডক—চিত্র ৮৮-তে একটি ভাসমান ডক দেখান হইয়াছে। ইহাতে কয়েকটি বায়ুকক্ষ থাকে। এই কক্ষগুলি জলে ভর্তি করা যায়, আবার পাম্পের সাহায্যে ঐ জল বাহির করিয়া দেওয়া যায়। কক্ষগুলি জলে ভর্তি করিলে ডকটি একটি নির্দিষ্ট সমতলরেখা (AB) পর্যন্ত জলে ডোবে। ঐ অবস্থায় জাহাজকে (SS)

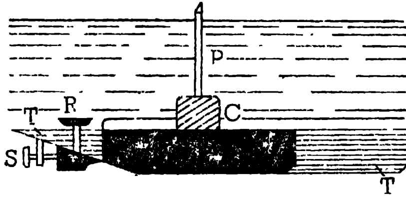


চিত্র ৮৮

* ইংরাজীতে 'L.R' লিখিয়া প্লিম্‌সল্ রেখা সূচিত করা হয়। ইহার পুরা কথা 'Lloyd's Register', অর্থাৎ লয়েডস্ ইন্‌সিওরেন্স কোম্পানির জাহাজী খাতার এই রেখাটির অবস্থান-বিবরণ লিপিবদ্ধ আছে। ইহার অর্থ এই যে, উক্ত কোম্পানি জাহাজটির ঐ রেখা পর্যন্ত জলে নিমজ্জন অনুমোদন করে। স্যামুয়েল প্লিম্‌সল্ নামে ব্রিটিশ পার্লামেন্টের একজন সদস্য জাহাজের ভারবহন ক্ষমতা-নির্দেশক এক আইন প্রণয়ন করাইয়াছিলেন। প্লিম্‌সল্ রেখা তাঁহার নাম অনুযায়ী হইয়াছে।

ডকটির মধ্যে ঢুকাইয়া দেওয়া হয়। তারপর বায়ুকক্ষগুলি হইতে জল বাহির করিয়া দিলে ডকটি জাহাজসহ জলের উপর ভাসিয়া উঠে। তখন জাহাজটিকে পরীক্ষা ও মেরামত করা যায়। ডকের মেঝেতে কোন জল না থাকিলে ডক ও জাহাজের মোট ওজন ডক-দ্বারা স্থানচ্যুত জলের ওজনের সমান হয়।

(ঘ) সাবমেরিন বা ডুবো জাহাজ—চিত্র ৮৯-তে একটি সাবমেরিন দেখান হইয়াছে। সাবমেরিন জলের উপর দিয়া সাধারণ জাহাজের মত যাইতে পারে, সমুদ্রের জলের নীচে নামিতে পারে, আবার সমুদ্রের জলের মধ্যে ডুবন্তভাবে চলাচলও করিতে পারে।



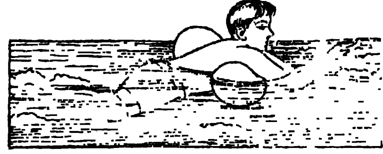
চিত্র ৮৯

ইহাতে বড় বড় কতকগুলি ব্যালাস্ট ট্যাঙ্ক (T) থাকে। সামনে ও পিছনে উভয় দিকেই এই ট্যাঙ্কগুলি রাখা হয়। এই ট্যাঙ্কগুলি জলে ভর্তি করা যায়; আবার শক্তিশালী পাম্প দ্বারা ঐ জল তাড়াতাড়ি বাহির করিয়া দেওয়া যায়। ট্যাঙ্ক যতই জলে ভর্তি করা হয়, জাহাজটি ততই ভারি হওয়ার দরুণ ডুবিতে থাকে। আর ট্যাঙ্ক যত খালি করা হয় জাহাজ ততই হাল্‌কা হইয়া উপরে ভাসিয়া উঠে। আধুনিক সাবমেরিনে জল ভরা ও বাহির করার কাজ দ্রুত করা যায়। ইহাতে **অনুভুমিক হাল** (horizontal rudder) ও **খাড়া হাল** (vertical rudder) এই দুই জাতীয় হালই থাকে। ইহাদের সাহায্যে যে-কোন গভীরতায় জাহাজটিকে স্থিরভাবে রাখা যায়। সাবমেরিনের সহিত একটি পেরিস্কোপ (periscope) যন্ত্র থাকে। উহার সাহায্যে (ইহার জলপৃষ্ঠের উপর মুখ বাড়াইয়া থাকে) সমুদ্রপৃষ্ঠের উপরে কি হইতেছে না হইতেছে জলের নীচে সাবমেরিনের অভ্যন্তরে থাকিয়াই সব দেখা যায়। যুদ্ধের কাজে, বা অলক্ষিত পর্যবেক্ষণ কাজে, এই জাহাজ ব্যবহার করা হইয়া থাকে।

(ঙ) সাঁতার কাটা—মানুষের মাথাটি জল অপেক্ষা ভারি। শরীরের বাকি অংশ জল অপেক্ষা হাল্‌কা। কোন প্রকার কৌশল-প্রক্রিয়া না খাটান হইলে জলের মধ্যে থাকা অবস্থায় মনুষ্যদেহ মস্তক নীচের দিকে করিয়া জলে ডুবে। হাত-পা নাড়াচাড়া করিয়া জলে বল প্রয়োগ করিয়া ঐ জলের প্রতিক্রিয়া-বলের সাহায্যে শরীরকে ভাসাইয়া রাখা

বা উহাকে এক অবস্থান হইতে জলের অন্য অবস্থানে লইয়া যাওয়ার নাম সাঁতার কাটা। লোনা জলের ঘনত্ব বেশি বলিয়া শরীরের উপর ইহার প্লবতার বল বেশি হয়। এইজন্য লোনা জলে সাঁতার কাটা অপেক্ষাকৃত সহজ।

লাইফ-বেল্ট (Life-belt) বা জীবনবন্ধনী—জল অপেক্ষা ভারি কোন বস্তুর সহিত জল অপেক্ষা হাল্‌কা একটি উপযোগী বস্তু বাঁধিয়া দিলে উহারা একত্রে জলে ভাসিতে পারে। এইরূপ ঠেস্‌-ভাসন বা আশ্রিত-ভাসনের (aided-floatation) অনেক দৃষ্টান্ত তোমরা পাইবে। একটি মার্বেল উপযুক্ত আয়তনের একখণ্ড কর্কের সহিত বাঁধিয়া জলে ছাড়িয়া দেও, দেখিবে উভয়েই একত্রে ভাসিতে থাকিবে। একটি বায়ুপূর্ণ হাল্‌কা থলি বা হাল্‌কা বন্ধনী (বা বায়ু-বেল্ট) ধরিয়া জলে ভাসিয়া ছেলেমেয়েরা সাঁতার কাটা অভ্যাস করে (চিত্র ৯০)। প্রত্যেক জাহাজেই লাইফ্‌-বেল্ট রাখিতে হয়। দুর্ঘটনাক্রমে জাহাজ জলে ডুবিলে লাইফ্‌ বেল্টগুলি ধরিয়া যাত্রীরা ভাসিয়া থাকিয়া জীবনরক্ষা করিতে পারে। তাই এই বন্ধনী বা বেল্টগুলিকে লাইফ-বেল্ট বা জীবনবন্ধনী বলা হয়।

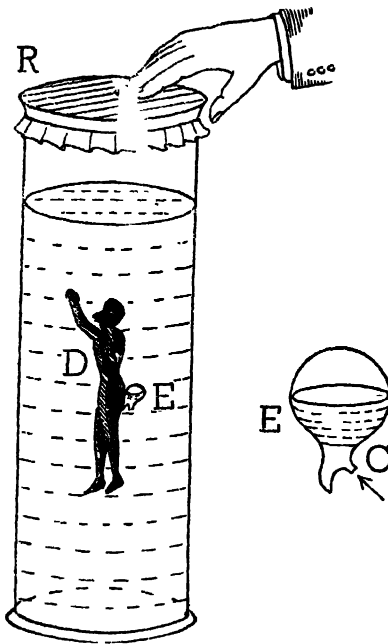


চিত্র ৯০

(চ) কার্টেসীয় ডাইভার (Cartesian Diver).—বিখ্যাত গণিতজ্ঞ ডেকার্টে (Descartes) এই খেলনাটির এক নমুনা প্রথম তৈয়ারি করিয়াছিলেন। ইহার সাহায্যে তরল পদার্থে নিমজ্জিত কোন বস্তুর সাম্য সম্বন্ধে কয়েকটি তথ্য সুস্পষ্ট ভাবে দেখান যায়।

চিত্র ৯১-এর D-অক্ষর দ্বারা চিহ্নিত মনুষ্যাকৃতি পুতুলটি ভিতরে ফাঁপা একটি ডুবুরী বা ডাইভার। ইহাতে একটি নলের আকারের পুচ্ছ (E) আছে। পুচ্ছের তলায় একটি ফুটা রহিয়াছে। একটি উঁচু জারের জলের মধ্যে পুতুলটি রাখা হইয়াছে। জারের মুখ রবারের একটি পাতলা সীট দিয়া টান করিয়া বায়ুনিরুদ্ধভাবে বাঁধিয়া দেওয়া হইয়াছে। পুতুলের ভিতরটা আংশিকভাবে জলে ভরা। পুতুল ও প্রবিষ্ট ঐ জলের মিলিত ভার, পুতুল দ্বারা স্থানচ্যুত জলের ভার অপেক্ষা সামান্য কম। তাই ডাইভারটি আংশিক নিমজ্জিত থাকিয়া জলে ভাসিতে থাকে। রবারের উপর

আঙুলের চাপ দিলে ডাইভারটি জলের নীচে নামিতে থাকে, চাপ প্রত্যাহার করা হইলে উহা আবার উপরে উঠিয়া আসে। রবারের পর্দায় নির্দিষ্ট স্থির চাপ দিলে ডাইভার D নির্দিষ্ট গভীরতায় স্থির হইয়া থাকে। এইভাবে মুখবন্ধনীর (R) উপর আঙুলের চাপ বদলাইয়া পুতুলটিকে জলের মধ্যে উঠা-নামা করান অর্থাৎ খেলান যায়। [কোন কোন ক্ষেত্রে পুতুলটি নিরেটই থাকে। তবে উহার সহিত একটি ফাঁপা বল বাঁধা থাকে]। চিত্র ৯১-এর ডাইন-পাশে এইরূপ একটি বল (EC) স্বতন্ত্র করিয়া দেখান হইয়াছে। C ঐ বলের ফুটা। বলটি আংশিক জলপূর্ণ।



চিত্র ৯১—কার্টেসীয় ডাইভার।

ব্যাখ্যা—রবারের পর্দার উপরে চাপ দিলে উহার নিম্নস্থ বায়ুর আয়তন কমে এবং চাপ বাড়ে। এই বর্ধিত চাপ প্যাস্কেলের সূত্রানুযায়ী মানে অপরিবর্তিত থাকিয়া জলের মাধ্যমে ডুবুরীটির ভিতরের বায়ুর উপর কাজ করে। ফলে ঐ বায়ুরও আয়তন কমে (চাপ দিলে সকল গ্যাসীয় পদার্থেরই আয়তন কমে) এবং আরও কিছু জল ফাঁপা ডুবুরীটির মধ্যে ঢুকিয়া পড়ে। ইহাতে উহা ভারি হয় এবং নীচে নামে। চাপ সরাইয়া লইলে বা কমাইলে উহার ভিতরের বায়ু সম্প্রসারিত হয়; তখন কিছু জল উহা হইতে বহিষ্কৃত হয় এবং হাল্‌কা হইয়া ইহা উপরে উঠে [ডুবুরীটি খুব বেশি নীচে নামিয়া গেলে ঐ গভীরতায় জলের স্থানীয় চাপ এত বেশি হইতে পারে যে ডুবুরীর মধ্যস্থ বায়ুর সম্প্রসারণ তখন আর সম্ভব হয় না। এই অবস্থায় ডুবুরীটি নিমজ্জিত থাকিবে উপরে আর উঠিবে না।]

মন্তব্য ঃ মাছের মেরুদণ্ডের নীচে একটি বায়ুথলি আছে। এই বায়ুথলি ফুলাইয়া বা সংকোচন করিয়া মাছ ইচ্ছামত জলের মধ্যে উপরের দিকে উঠিতে বা নীচে নামিতে পারে।

১৪৬। ভাসন-নীতির সাহায্যে কোন হাল্‌কা বস্তুর ঘনত্ব-নির্ণয় করা :—

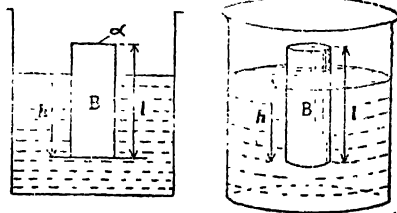
(ক) বরফের ঘনত্ব নির্ণয়।—একটি পাত্রে কিছু কোহল ও একখণ্ড বরফ রাখ। বরফ কোহলে ডুবিয়া থাকিবে। এখন ঐ পাত্রে ধীরে ধীরে জল ঢালিতে থাক। যখন দেখিবে যে বরফখণ্ড কোহল এবং জলমিশ্রিত ঐ তরল পদার্থে আর ডুবিতেছে না বা ভাসিতেছে না, সম্পূর্ণ নিমজ্জিতভাবে এক স্থানে স্থির হইয়া আছে, তখন আর জল দিবে না। বরফের ঘনত্ব এখন মিশ্রিত তরল পদার্থের ঘনত্বের সমান হইবে (অনুচ্ছেদ ১৪৪)। তরল পদার্থের ঘনত্ব-নির্ণয়ের বহু পদ্ধতি পরে বলা হইবে। উহার যে-কোন একটি পদ্ধতি অনুযায়ী ঐ মিশ্রিত তরলের ঘনত্ব বাহির কর। এই ঘনত্ব হইবে বরফের ঘনত্বের সমান।

(খ) কাঠ, মোম, ইত্যাদি বস্তুর ঘনত্ব নির্ণয়।—যেসব পদার্থ ঘনক বা চোঙের আকারে কাটিয়া লওয়া যায় তাহাদের ক্ষেত্রে ঘনত্ব-নির্ণয়ের নিম্নে বর্ণিত পদ্ধতিটি প্রয়োগ করা যাইবে। বস্তুটিকে জল হইতে হাল্‌কা হইতে হইবে এবং উহা জলে গলিবে না, বা জলের সহিত উহার কোন রাসায়নিক ক্রিয়া থাকিলে চলিবে না।

বস্তুটি হইতে সর্বত্র সমান প্রস্থচ্ছেদের চোঙের আকারে একটি নিয়মিত অংশ কাটিয়া লও। প্রস্থচ্ছেদ বৃত্তীয় বা আয়তক্ষেত্রীয় করা সহজতর। চিত্র ৯২-এর ডান ভাগে এইরূপ একটি বৃত্তীয় চোঙ (B) একটি বীকারের জলের মধ্যে আংশিক নিমজ্জিতভাবে ভাসন্ত অবস্থায় দেখান হইয়াছে।

বাম ভাগে দেখান হইয়াছে একপার্শ্ব হইতে দৃষ্টিরেখা উল্লম্বভাবে রাখিয়া দেখিলে উহা যেরূপ দেখা যাইবে সেইরূপে।

মনে কর, চোঙটির দৈর্ঘ্য l এবং প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল α। তাহা হইলে চোঙটির আয়তন $= l\alpha$। সুতরাং বস্তুটির ঘনত্ব ρ হইলে, উহার ভার $= l\alpha\rho$।



চিত্র ৯২

বস্তুটিকে জলের মধ্যে দাও। ইহা খাড়াভাবে আংশিক নিমজ্জিত অবস্থায় স্থির হইয়া থাকিবে। মনে কর, ইহার নিমজ্জিত অংশের উচ্চতা $= h$। তাহা হইলে স্থানচ্যুত জলের আয়তন $= h\alpha$ হইবে। সুতরাং জলের ঘনত্ব d ধরা হইলে, স্থানচ্যুত

জলের ভর $= h\alpha d$। বস্তুটি স্থির থাকিয়া ভাসিতেছে বলিয়া, $l\alpha\rho = h\alpha d$ (ভাসনের সর্ত অনুযায়ী)। অথবা, $l\rho = hd$;

$$\text{অথবা, } \rho = \frac{h}{l} \times d = \frac{\text{চোঙের নিমজ্জিত অংশের উচ্চতা}}{\text{চোঙের পুরা উচ্চতা}} \times \text{জলের ঘনত্ব।}$$

সি. জি. এস্. পদ্ধতি অনুযায়ী ধরিলে $d = 1$ গ্রাম, প্রতি ঘন সেণ্টিমিটারে হইবে এবং $\rho = \frac{h}{l}$ গ্রাম, প্রতি ঘন সেণ্টিমিটারে হইবে। একখানি ছোট স্কেলের সাহায্যে h ও l মাপা যাইবে।* এই পদ্ধতিতে কোনরূপ ওজন নিতে হয় না, দৈর্ঘ্যমাপনী একটি সরল স্কেলই ইহাতে যথেষ্ট।

১৪৭। সাধারণ (common) বা বিভিন্ন-আয়তন-নিমজ্জনী (variable immersion) হাইড্রোমিটার (hydrometer):—এই যন্ত্র দ্বারা কোন তরল পদার্থের ঘনত্ব সরাসরি তাড়াতাড়ি নির্ণয় করা যায়। হাইড্রোমিটারটির ভর নির্দিষ্ট। কোন তরল পদার্থে নিমজ্জিত করিলে কিছুটা অংশ নিমজ্জিত অবস্থায় ইহা তরলে ভাসে। কোন্ পর্যন্ত ডুবিবে তাহা তরল পদার্থটির ঘনত্বের উপর নির্ভর করে। তরলের ঘনত্ব যত কম হইবে হাইড্রোমিটারের তত অধিক অংশ জলের মধ্যে ডুবিবে। এইজন্য ইহার নাম 'বিভিন্ন-আয়তন-নিমজ্জনী' হাইড্রোমিটার। এই ধরনের হাইড্রোমিটার ব্যবসা-বাণিজ্যে সদাসর্বদা ব্যবহৃত হয়।

কার্যনীতি।—কোন কঠিন বস্তু কোন তরলে আংশিক নিমজ্জিতভাবে স্থির হইয়া ভাসমান থাকিলে ঐ অবস্থায় স্থানচ্যুত তরলের ভার বস্তুটির পুরা ভারের সমান হয়—ইহাই হইল এই যন্ত্রের মূল কার্যনীতি।

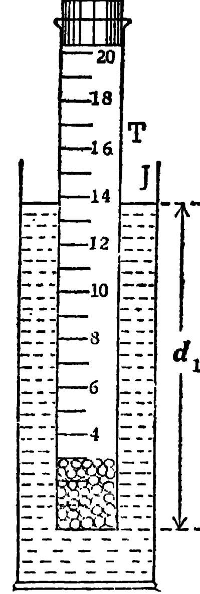
সাধারণ হাইড্রোমিটার তৈয়ারি করার সহজ উপায় এবং কি করিয়া ইহা হইতে সরাসরি ঘনত্বের পাঠ লইবার ব্যবস্থা করা হয়— একটি সমতল তলবিশিষ্ট এবং সর্বত্র সমান প্রস্থচ্ছেদের টেস্ট টিউব (T) লও [চিত্র ৯৩]। ইহার নীচে কতগুলি সীসার ছোট ছোট বল বা খানিকটা বালি রাখিয়া দাও। এগুলি দেওয়ার ফলে টিউবটি খাড়াভাবে জলে ভাসিতে পারিবে।

---

* স্কেল জলে ডুবাইও না। একটি সরু শিক জলে ডুবাইয়া h-এর মাপ লও। স্কেলে ফেলিয়া ঐ মাপের মান বাহির কর।

এখন টিউবটির ভিতর দিকে একখানি খাড়া কাগজের স্কেল নামাইয়া দেও। স্কেলের শূন্য দাগ যেন টিউবের তলার সহিত এক থাকে। স্কেলে যত ছোট ভাগ থাকিবে, হাইড্রোমিটারটি দ্বারা তত সঠিকভাবে ঘনত্ব নির্ণয় করা যাইবে। টিউবটির মুখ একটি ছিপি দিয়া বন্ধ করিয়া দাও।

হাইড্রোমিটারটি একটি উচ্চ জারের মধ্যে জলে ভাসাও। মনে কর, টিউবটির d দৈর্ঘ্য পর্যন্ত জলের তলায় গেল। হাইড্রোমিটারটি বাহির করিয়া মুছিয়া ফেল। জারের জল ফেলিয়া দিয়া ইহা ρ_1 ঘনত্বের কোন তরল পদার্থের দ্বারা ভর্তি কর। এখন হাইড্রোমিটারটির d_1 দৈর্ঘ্য, মনে কর, তরল পদার্থটির মধ্যে ডুবিবে। উভয় ক্ষেত্রেই হাইড্রোমিটারটির ভার স্থানচ্যুত তরল পদার্থের ভারের সমান হইবে। অতএব হাইড্রোমিটারের ভার $W = \alpha \times d \times 1 = \alpha \times d_1 \times \rho_1$, [$\alpha$ হাইড্রোমিটারটির প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল এবং 1 হইল জলের ঘনত্ব]। $\therefore \quad \rho_1 = \frac{d}{d_1}$। d-এর মান



চিত্র ৯৩

সর্বদা একই। অতএব বলা যায় যে, $\rho_1 \propto \frac{1}{d_1}$। এই সম্পর্কের সাহায্যে হাইড্রোমিটার কত সেন্টিমিটার ডুবিয়া থাকিলে তরল পদার্থের ঘনত্ব কত হইবে তাহা হিসাব করিয়া হাইড্রোমিটারের গায়ে লিখিয়া রাখা যায়। এখন এইভাবে ক্যালিব্রেট-করা হাইড্রোমিটার কোন অজানা ঘনত্বের তরল পদার্থে ডুবান হইলে, তরল পদার্থের পৃষ্ঠতল হাইড্রোমিটারের যে দাগের সহিত মিলিবে ঐ দাগ দ্বারা নির্দিষ্ট ঘনত্বই হইল পরীক্ষণীয় তরল পদার্থটির ঘনত্ব।

$\rho_1 \propto \frac{1}{d_1}$, এই সম্পর্ক হইতে ইহা স্পষ্টতঃই বুঝা যায় যে, তরলের ঘনত্ব ρ_1 যত কম হইবে, চোঙের নিমজ্জিত অংশের গভীরতা d_1 তত বেশি হইবে, অর্থাৎ হাল্কা তরলে হাইড্রোমিটারটি বেশি ডুবিবে।

দ্রষ্টব্য ঃ হাইড্রোমিটারের কাণ্ডটি (stem) নির্দিষ্ট আকারের নাও হইতে পারে। সে ক্ষেত্রে ঘনত্ব-জানা বিভিন্ন তরল পদার্থে ডুবাইয়া হাইড্রোমিটারটি বিভিন্ন ক্ষেত্রে যতটা ডুবিবে ঐ ঐ স্থানে দাগ কাটিয়া ঘনত্বের মান তথায় লিখিয়া লইতে হইবে।

Examples

1. Given a body A which weighs 7·55 gms. in air, 5·17 gms. in water and 6·35 gms. in a liquid B; calculate from these data the density of the body A and that of the liquid B.

উত্তর ঃ A-র ঘনত্ব $= \dfrac{A\text{-র ভার}}{A\text{-র সমান আয়তনের জলের ভার}}$

$$= \frac{A\text{-র ভার}}{A\text{-র দ্বারা স্থানচ্যুত জলের ভার}} = \frac{A\text{-র ভার}}{A\text{-র জলে আপাত ভার-হ্রাস}} = \frac{A\text{-র ভার}}{A\text{-র ভার} - A\text{-র জলে ভার}}$$

$$= \frac{7\cdot55}{7\cdot55-5\cdot17} = \frac{7\cdot55}{2\cdot38} = 3\cdot17 \text{ গ্রাম, প্রতি ঘন সেণ্টিমিটারে।}$$

$$B\text{-এর আপেক্ষিক গুরুত্ব} = \frac{\text{নির্দিষ্ট আয়তনের } B\text{-র ভার}}{\text{সম আয়তনের জলের ভার}} = \frac{A\text{-র আয়তনের সমান আয়তনের } B\text{-র ভার}}{A\text{-র আয়তনের সমান আয়তনের জলের ভার}}$$

$$= \frac{A\text{-দ্বারা স্থানচ্যুত } B\text{-র ভার}}{A\text{-র দ্বারা স্থানচ্যুত জলের ভার}}।$$

সুতরাং B-র ঘনত্ব $= \dfrac{7\cdot55-6\cdot35}{7\cdot55-5\cdot17} = \dfrac{1\cdot20}{2\cdot38} = 0\cdot504$ গ্রাম, প্রতি ঘন সেণ্টিমিটারে।

2. A hollow spherical ball has an internal diameter of 10 cms. and an external diameter of 12 cms. It is found to float in water just fully immersed. Find the density of the material of the ball.

উত্তর ঃ বাহিরের ব্যাসার্ধ $=6$ সে.মি ; ভিতরের ব্যাসার্ধ $=5$ সে.মি.

গোলকের বাহ্য আয়তন $= \frac{4}{3}\pi 6^3$ ঘন সে.মি. ;

গোলকের ভিতরের ফাঁকার আয়তন $= \frac{4}{3}\pi.5^3$. ঘন সে.মি.।

গোলকের পদার্থের আয়তন $= \left(\frac{4}{3}\pi 6^3\right) - \left(\frac{4}{3}\pi.5^3\right) = \frac{4}{3}\pi \times 91$ ঘন সে.মি.।

গোলকের ভর = গোলকের পদার্থের আয়তন × গোলকের পদার্থের ঘনত্ব $= \frac{4}{3}\pi \times 91 \times \rho$;

আবার, গোলকের ভর=স্থানচ্যুত জলের ভর=গোলকের বাহ্য আয়তনের জলের ভর $=\frac{4}{3}\pi 6^3\times 1$;

$\therefore\ \frac{4}{3}\pi\times 91\times\rho=\frac{4}{3}\pi.6^3\times 1$; বা, $\rho=\dfrac{\frac{4}{3}\pi.6^3}{\frac{4}{3}\pi.91}=\frac{6^3}{91}=\frac{216}{91}=2\cdot37$ গ্রাম, প্রতি ঘন সে মি.-তে।

3. Calculate the quantity of pure gold in 100 gms. of an alloy of gold and copper of density 16 gm./c.c. Given, density of gold= 19 gm./c.c. and that of copper=9 gm./c.c.

উত্তর : মনে কর, 100 গ্রাম সংকর ধাতুতে m গ্রাম স্বর্ণ আছে। তাহা হইলে ইহাতে ($100-m$) গ্রাম তাম্র আছে। মিশ্রিত ধাতুখণ্ডের আয়তন = স্বর্ণের আয়তন+তাম্রের আয়তন।

অথবা, $\frac{100}{16}=\frac{m}{19}+\frac{100-m}{9}=\frac{1900-10m}{19\times9}=\frac{100}{9}-\frac{10m}{19\times9}$;

অথবা, $\frac{10m}{19\times9}=\frac{100}{9}-\frac{100}{16}=\frac{700}{144}$; বা, $m=\frac{700}{144}\times\frac{19\times9}{10}=83\cdot12$ গ্রাম।

4. A toy weighs 150 gms. The density of this toy=1·12 gm./c.c. ; density of cork=0·24 gm./c.c. and that of water=1 gm./c.c. What weight of cork must be added to the toy so that the two together may just float in water ?

উত্তর : মনে কর, কর্কের নির্ণেয় ভর=w গ্রাম। কর্কের আয়তন=$\frac{w}{0\cdot24}$ ঘন সে.মি. এবং পুতুলের আয়তন=$\frac{150}{1\cdot12}$ ঘন সে.মি.। ইহাদের একত্রে আয়তন=$\frac{150}{1\cdot12}+\frac{w}{0\cdot24}$=স্থানচ্যুত জলের আয়তন।

অতএব স্থানচ্যুত জলের ভর = $\left(\frac{150}{1\cdot12}+\frac{w}{0\cdot24}\right)$ ×জলের ঘনত্ব = $\left(\frac{150}{1\cdot12}+\frac{w}{0\cdot24}\right)\times1$ = কর্ক ও পুতুলের ভর=$150+w$।

$\therefore\ \frac{w}{0\cdot24}-w=150-\frac{150}{1\cdot12}$; বা, $\frac{0\cdot76}{0\cdot24}w=150\times\frac{0\cdot12}{1\cdot12}$; বা, $w=150\times\frac{0\cdot12}{1\cdot12}\times\frac{0\cdot24}{0\cdot76}=5\cdot075$ গ্রাম=কর্কের ভর।

5. A sphere of iron is placed in a vessel containing mercury and water. Find out the ratio of the volume of the sphere immersed in water to that immersed in mercury. Given, density of mercury=13·6 gm./c.c. ; that of iron=7·8 gm./c.c. and that of water=1 gm./c.c.

উত্তর : মনে কর, গোলকের আয়তনের V_m ঘন সে মি. পারায় ও V_w ঘন সে.মি. জলে নিমজ্জিত হইয়াছে।

স্থানচ্যুত পারার ভর $= V_m \times 13.6$ গ্রাম ; স্থানচ্যুত জলের ভর $= V_w \times 1$ গ্রাম ।

ভাসন-নীতি অনুসারে, $(V_m \times 13.6) + (V_w \times 1) =$ গোলকের ভর $= (V_m + V_w) \times 7.8$ ।

অথবা, $V_m (13.6 - 7.8) = V_w (7.8 - 1)$; বা, $\frac{V_w}{V_m} = \frac{13.6 - 7.8}{7.8 - 1} = \frac{29}{34}$ ।

6. The density of sea-water is 1·025 gm./c.c. ; of fresh water 1 gm./c.c. and of ice 0·917 gm./c.c. Find what portion of an ice-berg will be visible above the water surface when it is in sea water, and when in fresh water.

উত্তর : মনে কর, হিমশৈলের আয়তন V এবং উহা জলে ডুবাইলে উহার v আয়তন অংশ ডুবিয়া থাকে। তাহা হইলে $(V - v)$ আয়তন জলের উপরে থাকিবে। তাহা হইলে

$\frac{v}{V} = \frac{\text{বরফের ঘনত্ব}}{\text{জলের ঘনত্ব}}$; অথবা, $1 - \frac{v}{V} = \frac{V - v}{V} = 1 - \frac{\text{বরফের ঘনত্ব}}{\text{জলের ঘনত্ব}}$;

অর্থাৎ $\frac{\text{হিমশৈলের জলের উপরের অংশের আয়তন}}{\text{হিমশৈলের মোট আয়তন}} = \frac{\text{বরফের ঘনত্ব}}{\text{জলের ঘনত্ব}}$ ।

সমুদ্রের জলে এই অনুপাত হইবে $1 - \frac{0.917}{1.025} = \frac{0.108}{1.025} = \frac{1}{9.5}$ ।

বিশুদ্ধ জলের ক্ষেত্রে এই অনুপাত হইবে, $1 - \frac{0.917}{1} = \frac{0.083}{1} = \frac{1}{12}$ (প্রায়)।

অতএব সমুদ্রের জলে ডুবাইলে হিমশৈলের $\frac{1}{9.5}$ ভাগ জলের উপরে থাকিবে এবং বিশুদ্ধ জলে ডুবাইলে হিমশৈলের $\frac{1}{12}$ ভাগ জলের উপরে থাকিবে।

7. A sea-going ship (without cargo) draws 20 ft. of water. If its water-line area is 15,000 sq. ft., what load will make it draw 22 ft. of water? Given, density of sea-water = 1·025 gm./c.c. ; 1 cu. ft. of pure water weighs 62·5 lbs.

উত্তর : '22 ফুট জল টানিতে' হইলে আরও $15{,}000\,(22 - 20) = 15{,}000 \times 2$ ঘনফুট জল স্থানচ্যুত করিতে হইবে।

এই অতিরিক্ত জলের ভর $= 15{,}000 \times 2 \times (62.5 \times 1.025)$ পাউণ্ড $= 857.9$ টন = নির্ণেয় ভর।

8. The weight of a big liner is 64,000 tons. What must be the volume of a floating dock which will be able to support it? Given, density of sea-water = 1·025 gm./c.c. ; 1 cu. ft. of pure water weighs 62·5 lbs.

উত্তর ঃ ডকের নিম্নতম আয়তন (ডকের ভর না ধরিলে)=64,000 টন ভরের সমুদ্রজলের আয়তন=(64,000×2240) পাউণ্ড সমুদ্রজলের আয়তন।

$=\frac{64,000\times2240}{62{\cdot}5\times1{\cdot}025}$ ঘন ফুট=2,237,814 6 ঘনফুট (প্রায়)।

Exercises

1. An elephant weighing 2 tons is taken aboard a barge of length 20 ft. and breadth 6 ft. floating in a river. How many inches will the barge sink ? 1 cu. ft. water weighs=62·5 lbs. [উত্তর : 7·17 ইঞ্চি ।]

2. The crown of Hiero weighed 20 lbs. Archimedes found that it lost 1·05 lbs. when immersed in water. The crown was made of gold and silver. Find the amounts of gold and silver in the alloy. Density of gold=19·3 gm./c.c. ; density of silver=10·5 gm /c.c. [উত্তর : স্বর্ণ, 16 85 পাউণ্ড ; রৌপ্য, 3 15 পাউণ্ড ।]

A beaker containing water weighs 300 gms., and a piece of metal whose volume is 10 c.c. and mass 88 gms. is immersed in the water, being suspended by a thread. Find the upward force which must be applied to the thread to support the metal, and the upward force necessary to support the beaker.

[উত্তর : 78 গ্রাম-ভার ; 310 গ্রাম-ভার ।]

4. A piece of iron weighing 272 gms. floats in mercury of density 13·6 gms./c.c. with $\frac{5}{8}$th of its volume immersed. Determine the volume and density of iron.

[উত্তর : আয়তন=32 ঘন সে মি. ; ঘনত্ব=8·5 গ্রাম, প্রতি ঘন সে. মি.-তে ।]

5. The density of ice is 0·918 gm./c.c. and that of sea-water is 1·03 gm./c.c. What is the total volume of an ice-berg which floats with 700 cu. yds. exposed ?

[উত্তর : আয়তন=6437·5 ঘন গজ ।]

6. A solid body floating in water has one-sixth of its volume above the surface. What fraction of its volume will project above the surface, if it floats in a liquid of density 1·2 gm./c.c. [উত্তর : $\frac{11}{36}$ অংশ ।]

7. Two bodies equipoise with each other when suspended in water from the arms of a balance. The mass of one body is 28 gms. and its density 5·6 gm./c.c. If the mass of the other is 36 gms., what is its density ?

[উত্তর: 2·77 গ্রাম, প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে ।]

8. 1 c. c. of lead of density 11·4 gms./c.c. and 21 c.c. of wood of density 0·5 gm./c.c. are fixed together. Find whether the combination will float in water.

অষ্টম পরিচ্ছেদ

আপেক্ষিক গুরুত্ব (Specific Gravity)

১৪৮। ঘনত্ব ও আপেক্ষিক গুরুত্বের পার্থক্য :—

ঘনত্ব।—কোন পদার্থের একক আয়তনে যে পরিমাণ ভর থাকে তাহাকে উহার ঘনত্ব বলে। তাহা হইলে,

ঘনত্ব $\rho = \dfrac{\text{বস্তুর ভর } m}{\text{বস্তুর আয়তন } v}$; অথবা, $\rho = \dfrac{m}{v}$ গ্রাম, প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে (সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে), বা পাউণ্ড প্রতি ঘনফুটে (এফ. পি. এস্. পদ্ধতিতে)

আপেক্ষিক গুরুত্ব।—কোন পদার্থের কোন নির্দিষ্ট আয়তনের ভার ও 4° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায় ঐ সমান আয়তনের বিশুদ্ধ জলের ভারের অনুপাতকে পদার্থটির আপেক্ষিক গুরুত্ব বলে।

তাহা হইলে, আপেক্ষিক গুরুত্ব $= \dfrac{\text{পদার্থের } V \text{ আয়তনের ভার}}{4^\circ \text{ সে. উষ্ণতায় } V \text{ আয়তনের জলের ভার}}$

$= \dfrac{\text{পদার্থের } V \text{ আয়তনের ভর} \times g}{4^\circ \text{ সে. উষ্ণতায় } V \text{ আয়তনের জলের ভর} \times g}$

$= \dfrac{\text{পদার্থের একক আয়তনের ভর}}{\text{জলের একক আয়তনের ভর (} 4^\circ \text{ সে. উষ্ণতায়)}}$

$= \dfrac{\text{পদার্থের ঘনত্ব}}{\text{জলের ঘনত্ব (} 4^\circ \text{ সে. উষ্ণতায়)}}$ *

$=4^\circ$ সে. উষ্ণতার জলের তুলনায় পদার্থের আপেক্ষিক ঘনত্ব।

এইজন্য আপেক্ষিক গুরুত্বকে কখনও কখনও আপেক্ষিক ঘনত্ব (relative density) বলা হয়।

(ক) আপেক্ষিক গুরুত্ব একটি অনুপাত (ratio) বলিয়া ইহাকে একটি সংখ্যার দ্বারা প্রকাশ করা হয়। ইহার কোন একক নাই। ঘনত্ব কিন্তু প্রতি একক আয়তনে

---

* এখানে প্রামাণ্য বস্তু হিসাবে জলকে বাছিয়া লইবার ব্যাপারে বিস্ময়ের কিছু কারণ নাই। কিন্তু 4° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতার জলকে বাছিয়া লওয়া হয় কেন? ইহার কারণ এই যে, অন্যান্য পদার্থের মত জলের ঘনত্ব, উষ্ণতা বদলাইলে বদলায়। সুতরাং কোন্ ঘনত্বের জলকে প্রামাণ্য ধরিতে হইবে তাহা নির্দিষ্ট করিয়া দিতে হইলে উষ্ণতার উল্লেখ প্রয়োজন। 4° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায় জলের ঘনত্ব হয় সর্বোচ্চ। এই সর্বোচ্চ ঘনত্বের জল প্রামাণ্য হিসাবে এখানে ধরা হইয়াছে।

.র্থের ভর বলিয়া ইহার একটি বিশেষ এককের প্রয়োজন। এই একক নানারূপে য়া যায়, যথা—গ্রাম, প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে এবং পাউণ্ড, প্রতি ঘনফুটে, ইত্যাদি।

(খ) একই স্থানে দুইটি ভারের অনুপাত উহাদের ভরের অনুপাতের সমান বলিয়া, আপেক্ষিক গুরুত্বের সংজ্ঞায় ভারের বদলে ভর লিখিলে আংকিক বিচারে ভুল হয় না।

১৪৯। সি. জি. এস্. ও এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে ঘনত্ব ও আপেক্ষিক গুরুত্বের সম্পর্ক :—

ঘনত্ব.—কোন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব $=\dfrac{\text{পদার্থের ঘনত্ব}}{\text{জলের ঘনত্ব (} 4^\circ \text{ সে উষ্ণতায়)}}$।

সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে 4° সে. উষ্ণতায় জলের ঘনত্ব $=1$ গ্রাম, প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে। অতএব, পদার্থের ঘনত্ব $=$ (পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব) $\times$ (1 গ্রাম, প্রতি সেন্টিমিটারে)।

অতএব সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে কোন পদার্থের ঘনত্ব ρ গ্রাম, প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে হইলে, আপেক্ষিক গুরুত্ব ρ হইবে, অর্থাৎ, সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে ঘনত্ব ও আপেক্ষিক গুরুত্ব এককে বিভিন্ন হইলেও মানে সমান হইবে।

এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে 4° সে. উষ্ণতায় জলের ঘনত্ব $=62{\cdot}5$ পাউণ্ড, প্রতি ঘন ফুটে। অতএব, পদার্থের ঘনত্ব $=$ (পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব) $\times$ ($62{\cdot}5$ পাউণ্ড, প্রতি ঘনফুটে)।

এই পদ্ধতিতে কোন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব ρ হইলে, উহার ঘনত্ব $62{\cdot}5\rho$ পাউণ্ড, প্রতি ঘনফুটে, হইবে। অর্থাৎ, এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে ঘনত্ব এককে বিভিন্ন হইবে ও উহার মান আপেক্ষিক গুরুত্বের $62{\cdot}5$ গুণ হইবে।

আপেক্ষিক গুরুত্ব.—

(ক) কোন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব

$$=\frac{\text{সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে পদার্থের ঘনত্ব}}{\text{সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে জলের ঘনত্ব (} 4^\circ \text{ সে. উষ্ণতায়)}}$$

$$=\frac{\rho \text{ গ্রাম, প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে}}{1 \text{ গ্রাম, প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে}}=\rho \text{ ।}$$

(খ) কোন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব

$$=\frac{\text{এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে পদার্থের ঘনত্ব}}{\text{এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে জলের ঘনত্ব (} 4^\circ \text{ সে. উষ্ণতায়)}}$$

$$=\frac{\rho \times 62\text{·}5 \text{ পাউণ্ড, প্রতি ঘনফুটে}}{62\text{·}5 \text{ পাউণ্ড, প্রতি ঘনফুটে}}=\rho \text{ ।}$$

[ρ গ্রাম, প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে $=\frac{\rho}{453\text{·}6}$ পাউণ্ড, প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে,

$=\frac{\rho}{453\text{·}6}\times(30\text{·}48)^3$ পাউণ্ড, প্রতি ঘনফুটে,

$=\rho\times 62\text{·}5$ পাউণ্ড, প্রতি ঘনফুটে ।

কারণ, এক ঘনফুট $=(1$ ফুট$)^3=(12$ ইঞ্চি $)^3=(12\times 2\text{·}54$ সেন্টিমিটার $)^3$

$=(30\text{·}48)^3$ ঘন সেন্টিমিটার]

লক্ষ্য করিতেছ যে, সি. জি. এস্. এবং এফ্. পি. এস্. উভয় পদ্ধতিতেই পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব একই হইবে, যথা পারার আপেক্ষিক গুরুত্ব উভয় পদ্ধতিতেই 13·6 ।

পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব :—

(ক) একটি সর্বাঙ্গ-সমরূপ বা সমমাত্র (homogeneous) পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব উহার মোট ভরের পরিমাণের উপর নির্ভর করে না.—

$$\text{আপেক্ষিক গুরুত্ব}=\frac{v \text{ আয়তনের পদার্থের ভার}}{v \text{ আয়তন জলের ভার (} 4^\circ \text{ সে. উষ্ণতায়)}}$$

$$=\frac{v\times \text{একক আয়তনের পদার্থের ভার}}{v\times \text{একক আয়তন জলের ভার (} 4^\circ \text{ সে. উষ্ণতায়)}}$$

$$=\frac{\text{একক আয়তনের পদার্থের ভার}}{\text{একক আয়তনের জলের ভার (} 4^\circ \text{ সে. উষ্ণতায়)}} \text{ ।}$$

এই সম্পর্ক হইতে বুঝা যায় যে, আপেক্ষিক গুরুত্ব পদার্থের সমগ্র ভরের (বা আয়তন vর) উপর নির্ভর করে না। অতএব কোন আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়ের পরীক্ষায় যে পরিমাণ পদার্থ লওয়া হইবে তাহার উপর আপেক্ষিক গুরুত্বের মান নির্ভর করিবে না। কোন পরীক্ষায় যতটা পদার্থ লইয়া কাজ করা সুবিধাজনক, ততটা লইলেই চলিবে। অবশ্য, বেশি পরিমাণ পদার্থ লইলে তাহার ভর বা আয়তন বেশি সঠিকভাবে মাপা যাইবে এবং আপেক্ষিক গুরুত্বের নির্ণীত মান অধিকতর নিখুঁত হইবে।

(খ) আপেক্ষিক গুরুত্বের উষ্ণতা-সংশোধন (Temperature correction of specific gravity).—

$$\text{আপেক্ষিক গুরুত্ব} = \frac{v \text{ আয়তনের পদার্থের ভার}}{4^\circ\text{সে. তাপমাত্রাবিশিষ্ট } v \text{ আয়তন জলের ভার}}$$

$$= \frac{v \text{ আয়তন পদার্থের ভর}}{4^\circ\text{সে. তাপমাত্রাবিশিষ্ট } v \text{ আয়তন জলের ভর}}।$$

উপরোক্ত সমীকরণের ডান দিকের লব (numerator) তুলাদণ্ডের সাহায্যে সহজেই নির্ণয় করা যায়। ইহার জন্য যতটা আয়তনের পদার্থ লইলে সুবিধা হয়, তাহাই লওয়া হয়। 4° সে. তাপমাত্রাবিশিষ্ট সম আয়তনের জলের ভর নির্ণয়ের পরীক্ষা সহজ নয়, কারণ 4° সে.-এর জল লইতে হইবে। সাধারণতঃ জল লওয়া হয় লেবরেটরির তাপমাত্রায়, (t° সেন্টিগ্রেডে, মনে কর)।

$$\text{পদার্থের প্রকৃত আপেক্ষিক গুরুত্ব} = \frac{v \text{ আয়তন পদার্থের ভার}}{4^\circ \text{ সে. তাপমাত্রাবিশিষ্ট } v \text{ আয়তন জলের ভার}}$$

$$= \frac{v \text{ আয়তন পদার্থের ভার}}{t^\circ \text{ সে. তাপমাত্রাবিশিষ্ট } v \text{ আয়তন জলের ভার}} \times \frac{t^\circ \text{ সে. তাপমাত্রাবিশিষ্ট } v \text{ আয়তন জলের ভার}}{4^\circ \text{ সে. তাপমাত্রাবিশিষ্ট } v \text{ আয়তন জলের ভার}}$$

$$= \text{নির্ণীত আপেক্ষিক গুরুত্ব} \times \frac{t^\circ \text{ সে.-এর একক আয়তন জলের ভার}}{4^\circ \text{ সে.-এর একক আয়তন জলের ভার}}$$

$$= \text{নির্ণীত আপেক্ষিক গুরুত্ব} \times \frac{t^\circ \text{ সে.-এর একক আয়তন জলের ভর}}{4^\circ \text{ সে.-এর একক আয়তন জলের ভর}}।$$

4° সে. তাপমাত্রার 1 ঘন সেন্টিমিটার আয়তনের জলের ভর 1 গ্রাম। 1 ঘন সেন্টিমিটার আয়তনের জলের ইহাই সর্বোচ্চ ভর। উষ্ণতা t° সে., 4° সে.-এর বেশিই হউক কি কমই হউক, t° সে.-এর 1 ঘন সেন্টিমিটার জলের ভর সর্বদাই 1 গ্রামের কম হইবে। কত হইবে তাহা t-এর মানের উপর নির্ভর করিবে। অতএব পদার্থের প্রকৃত আপেক্ষিক গুরুত্ব

$$= \text{নির্ণীত আপেক্ষিক গুরুত্ব} \times \frac{t^\circ \text{ সে.-এর জলের ঘনত্ব}}{4^\circ \text{ সে.-এর জলের ঘনত্ব}}$$

$$= (\text{নির্ণীত আপেক্ষিক গুরুত্ব}) \times (t^\circ \text{ সে.-এর জলের আপেক্ষিক গুরুত্ব})।$$

বিভিন্ন তাপমাত্রার জলের আপেক্ষিক গুরুত্বের তালিকা সকল লেবরেটরিতে রাখা দরকার। তাপমাত্রার সামান্য পরিবর্তনে আপেক্ষিক গুরুত্বের মান বিশেষ পরিবর্তিত

হয় না সত্য, তবু যে তাপমাত্রায় বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব প্রকৃতপক্ষে মাপা হয় তাহা লিপিবদ্ধ করিয়া রাখা উচিত।

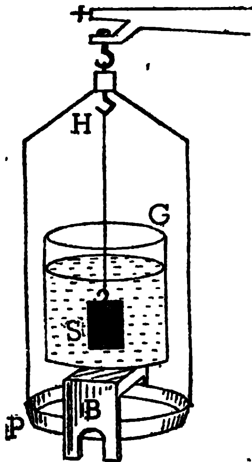
১৫১। কোন কঠিন বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব বাহির করিবার পরীক্ষা :—

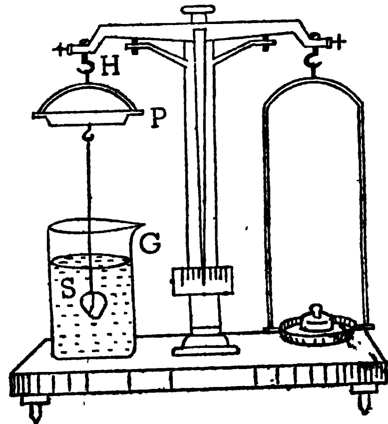
(ক) নিয়মিত আকারের কোন কঠিন বস্তুর ক্ষেত্রে.—

পরীক্ষণীয় কঠিন বস্তুটি গোলক, চোঙাকৃতি, ঘনক, অথবা অন্য কোন নিয়মিত আকারের হইলে প্রয়োজনীয় কতকগুলি রৈখিক মাপ হইতে উহার আয়তন বাহির করা যায় এবং ইহার ভর তুলার সাহায্যে নির্ণয় করা যায়। ধরা যাক্ যে, বস্তুটির আয়তন $= V$ ঘন সে.মি. এবং ভর $= M$ গ্রাম। অতএব, বস্তুটির ঘনত্ব $\rho = M/V$ গ্রাম, প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে। তাহা হইলে, ইহার আপেক্ষিক গুরুত্ব $= M/V$ হইবে।

(খ) নিয়মিত বা অনিয়মিত আকারের কোন কঠিন বস্তুর ক্ষেত্রে.—

উদ্‌তুলার (Hydrostatic Balance) সাহায্যে—উদ্‌তুলার সাহায্যে কোন বস্তুকে কোন তরল পদার্থে ডুবাইয়া সহজে ওজন করা যায়। দুই রকমের উদ্‌তুলা চিত্র ৯৪-এ দেখান হইয়াছে।





চিত্র ৯৪

বাম দিকের চিত্রে একটি সেতু (B) এবং উহার উপরে বসানো বীকারের (G) সাহায্যে একটি সাধারণ তুলাকে কিরূপে উদ্‌তুলায় পরিণত করা যায় ঐ পদ্ধতি দেখান হইয়াছে। ডান দিকের উদ্‌তুলা একটু বিশেষ ধরণের। ইহাতে বাম দিকের তুলাপাত্রের

ফ্রেম অনেক ছোট থাকে। পাত্রের তলা হইতে সূতা ঝুলাইবার জন্য ইহাতে একটি হুক্ লাগান হয়। অবশ্য বাম দিকের তুলাপাত্র (P) ও ফ্রেমের ভার এবং ডান দিকের তুলাপাত্র ও ফ্রেমের ভার সমান সমান রাখা হয়। এক্ষেত্রে বীকার তুলার ভূমির উপরেই রাখা যায়, আলাদা সেতুর প্রয়োজন হয় না।

দ্রষ্টব্য ঃ বাম দিকের উদ্‌তুলার কোন পরীক্ষায় বীকার বা সেতু তুলাপাত্র বা উহার ফ্রেমকে যাহাতে স্পর্শ করিতে না পারে সেই দিকে লক্ষ্য রাখিতে হইবে।

H-E

(১) জল অপেক্ষা ভারি এবং জলে অদ্রবণীয় কোন কঠিন পদার্থের ক্ষেত্রে.—

এক টুক্‌রা সূতাসহ পরীক্ষণীয় বস্তুটিকে তুলা দ্বারা ওজন কর। মনে কর, ইহার ভর হইল M গ্রাম। এখন উদ্‌তুলার সাহায্যে বস্তুটিকে বাম পাত্র হইতে ঝুলাইয়া জলে ডুবাইয়া ওজন কর। লক্ষ্য রাখিবে বস্তুটি বীকারের গাত্রে যেন না লাগে। বস্তুটি জলে সম্পূর্ণ নিমজ্জিত হইবে এবং উহার গাত্রে বায়ুর কোন বুদ্‌বুদ থাকিবে না। মনে কর, বস্তুটির জলে ওজন M_1 গ্রাম হইল। তাহা হইলে, বস্তুটির আপেক্ষিক গুরুত্ব

$$= \frac{\text{বস্তুর ভর}}{4^\circ \text{ সে. তাপমাত্রাবিশিষ্ট সমান আয়তন জলের ভর}}$$

$$= \frac{M}{\text{লেবরেটরির তাপমাত্রাবিশিষ্ট সমান আয়তন জলের ভর}} \text{ (প্রায়)}$$

$$= \frac{M}{\text{বস্তু দ্বারা স্থানচ্যুত জলের ভর}}$$

$= \dfrac{M}{M - M_1}$ (প্রায়)। উষ্ণতাজনিত সংশোধন করিতে হইলে এই রাশিকে লেবরেটরির উষ্ণতাবিশিষ্ট জলের আপেক্ষিক গুরুত্বের দ্বারা গুণ করিতে হইবে।

H-E

(২) জল অপেক্ষা হাল্‌কা এবং জলে অদ্রবণীয় কোন কঠিন পদার্থের ক্ষেত্রে.—

মনে কর, বস্তুটির ভর $= M_1$ গ্রাম। এখন, জল অপেক্ষা অনেক ভারি ও জলে অদ্রবণীয় অন্য আর-একটি বস্তু লও। এইরূপ সাহায্যকারী বস্তুকে মগ্নক (sinker) বলে। হাল্‌কা বস্তুটি এবং মগ্নকটি একত্রে শক্ত করিয়া বাঁধ। এখন বস্তুযৌথকে জলে ডুবাইয়া

ওজন কর। মনে কর, এক্ষেত্রে যুক্ত ভর $= M_2$ গ্রাম। এবার মগ্নকটি একা জলে ডুবাইয়া উহার ভর ($= M_3$ গ্রাম) নির্ণয় কর।

বস্তুটির আপেক্ষিক গুরুত্ব

$$= \frac{\text{বস্তুর ভর}}{\text{বস্তুর সমান আয়তন জলের ভর}} = \frac{M_1}{\text{বস্তু দ্বারা স্থানচ্যুত জলের ভর}}$$

$$= \frac{M_1}{(\text{বস্তু ও মগ্নক দ্বারা স্থানচ্যুত জলের ভর}) - (\text{মগ্নক দ্বারা স্থানচ্যুত জলের ভর})}$$

$$= \frac{M_1}{(\text{বস্তু ও মগ্নকের বায়ুতে ওজন} - \text{বস্তু ও মগ্নকের জলে ওজন}) - (\text{মগ্নকের বায়ুতে ওজন} - \text{মগ্নকের জলে ওজন})}$$

$$= \frac{M_1}{\{(\text{বস্তুর বায়ুতে ওজন} + \text{মগ্নকের বায়ুতে ওজন}) - (\text{বস্তু ও মগ্নকের জলে ওজন})\} - \{(\text{মগ্নকের বায়ুতে ওজন}) - (\text{মগ্নকের জলে ওজন})\}}$$

$$= \frac{M_1}{(\text{বস্তুর বায়ুতে ওজন}) - (\text{বস্তু ও মগ্নকের জলে ওজন}) + (\text{মগ্নকের জলে ওজন})}$$

$$= \frac{M_1}{M_1 - M_2 + M_3} ।$$

বিকল্প পদ্ধতি।—

বস্তুর বায়ুতে ওজন $= M_1$ গ্রাম।

বস্তুটি বায়ুতে ও মগ্নক জলে রাখিয়া ওজন $= M_2$ গ্রাম।

বস্তু ও মগ্নক উভয়ের যৌথভাবে জলে ওজন $= M_3$ গ্রাম।

অতএব বস্তুকর্তৃক স্থানচ্যুত জলের ভর $= (M_2 - M_3)$ গ্রাম।

$$\text{বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব} = \frac{M_1}{M_2 - M_3}$$

(গ) জলে দ্রবণীয় কোন কঠিন পদার্থের ক্ষেত্রে।—

এই কঠিন পদার্থটি যাহাতে দ্রবণীয় নয় এরূপ একটি তরল পদার্থ নির্বাচন করিতে

হইবে। এখন উপরোক্ত (ক) বা (খ) পদ্ধতিতে এই তরল পদার্থের তুলনায় পরীক্ষণীয় কঠিন পদার্থটির আপেক্ষিক গুরুত্ব বাহির কর। তাহা হইলে,

বস্তুটির আপেক্ষিক গুরুত্ব

$$= \frac{\text{পদার্থের বায়ুতে ভার}}{\text{সমান আয়তন জলের ভার}}$$

$$= \left(\frac{\text{পদার্থের বায়ুতে ভার}}{\text{সমান আয়তনের সহায়ক-তরল-পদার্থের ভার}}\right) \times \left(\frac{\text{সমান আয়তনের সহায়ক-তরল-পদার্থের ভার}}{\text{সমান আয়তন জলের ভার}}\right)$$

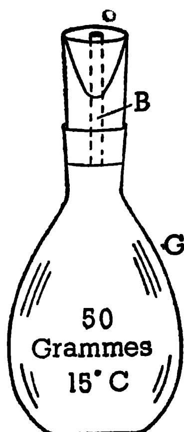
=(সহায়ক-তরল-পদার্থের তুলনায় কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব) × (ঐ তরল পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব)।

সহায়ক-তরল-পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব জানা থাকিবে, অথবা উহা পরীক্ষা-দ্বারা বাহির করিয়া লইতে হইবে। মনে কর, একখণ্ড ফিট্‌কিরির আপেক্ষিক গুরুত্ব বাহির করিতে হইবে। এক্ষেত্রে কেরোসিন সহায়ক-তরল-পদার্থ হিসাবে লওয়া যায়। মনে কর, কেরোসিনের তুলনায় ফিট্‌কিরির আপেক্ষিক গুরুত্ব হইল s_1 এবং কেরোসিনের আপেক্ষিক গুরুত্ব s_2। তাহা হইলে, ফিট্‌কিরির আপেক্ষিক গুরুত্ব (প্রকৃত) $= s_1 \times s_2$ হইবে।

(২) আপেক্ষিক-গুরুত্ব-শিশির সাহায্যে (**By specific gravity bottle**).—কোন পাউডার বা সূক্ষ্ম দানাবিশিষ্ট দ্রব্য বা ছোট ছোট টুকরা-করা কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়ে আপেক্ষিক-গুরুত্ব-শিশি ব্যবহার করা হয়।

শিশি-র বর্ণনা.—ইহা একটি কাঁচের ছিপি লাগানো সমতল তলাবিশিষ্ট ছোট শিশি (চিত্র ৯৫)। ইহার মধ্যস্থল অপেক্ষাকৃত মোটা, নীচের দিকে ও উপর দিকে সরু। গলদেশ চোঙের আকৃতির। ইহার মধ্যে অনুরূপ আকৃতির একটি ছিপি আঁটিয়া বসান যায়। ছিপিটির ভিতর দিয়া একটি সরু সুড়ঙ্গ আছে। ছিপি বসাইলেও এই সুড়ঙ্গের মধ্য দিয়া শিশির ভিতরের তরল পদার্থ বাহিরে আসিতে পারে। তরল পদার্থে পূর্ণ করিয়া ছিপি আঁটিয়া দিলে, শিশিটি তরল দ্বারা ভর্তি হয়, অতিরিক্ত তরল পদার্থ ছিপির সুড়ঙ্গের মধ্য দিয়া বাহিরে পড়িয়া যায়। শিশিটির আয়তন কত

তাহা সাধারণতঃ উহার গায়ে লেখা থাকে। ঐ আয়তন অবশ্য নির্দিষ্ট উষ্ণতার জন্য। উষ্ণতা বাড়িলে আয়তন বাড়িবে, উষ্ণতা কমিলে আয়তন কমিবে, যদিও আয়তনের এই হ্রাসবৃদ্ধি সামান্য।



চিত্র ৯৫

পরীক্ষা।—একটি আপেক্ষিক-গুরুত্ব-শিশি লও। ইহাকে প্রথমে অ্যাসিড, পরে কোহল ও সর্বশেষে জল দিয়া পরিষ্কার কর এবং ভাল করিয়া শুকাইয়া লও। এখন শিশিটি (ছিপিসহ) ওজন করিয়া ইহার ভর (M_1) নির্ণয় কর। তারপর পরীক্ষণীয় পদার্থের কিছুটা গুঁড়া (যাহার আপেক্ষিক গুরুত্ব বাহির করিতে হইবে) শিশির মধ্যে দাও এবং ছিপি ও কঠিন পদার্থসহ শিশিটি আবার ওজন কর। মনে কর, এই ভর M_2 হইল। পরীক্ষণীয় পদার্থটি জলে দ্রবণীয় না হইলে, শিশিটির অবশিষ্ট স্থান জল দ্বারা পূর্ণ কর এবং মোট ওজন আবার লও। মনে কর, এই ভর হইল M_3। এবার জল ও কঠিন পদার্থ ফেলিয়া দিয়া শিশিটি শুধু জল দিয়া ভর্তি কর এবং উহার আবার ওজন লও। মনে কর, এই ভর হইল M_4। প্রতিবার ওজন করিবার পূর্বে শিশির বহির্ভাগ ভাল করিয়া ব্লটিং পেপার দিয়া শুষ্ক করিয়া লইও এবং দেখিও যেন তরল-ভর্তি-অবস্থায় শিশির মধ্যে কোন বায়ু-বুদ্বুদ না থাকে।

আংকিক হিসাব—

খালি শিশির ভর $= M_1$;

শিশি + কঠিন পদার্থের ভর $= M_2$;

শিশি + কঠিন পদার্থ + অবশিষ্ট-অংশ-পূর্ণকারী জলের ভর $= M_3$;

শিশি + পরিপূর্ণকারী জলের ভর $= M_4$;

সুতরাং গৃহীত কঠিন পদার্থের ভর $= M_2 - M_1$;

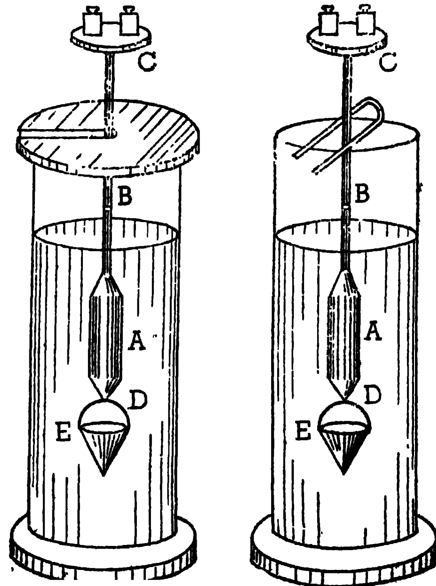
পদার্থের সম আয়তন জলের ভর $= (M_4 - M_1) - (M_3 - M_2)$।

সুতরাং, পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব $= \dfrac{(M_2 - M_1)}{(M_4 - M_1) - (M_3 - M_2)}$,

মন্তব্য : পরীক্ষাধীন পদার্থ যদি জলে দ্রবণীয় হয় বা জলের সহিত রাসায়নিক ক্রিয়া করে, তাহা হইলে জল না লইয়া এমন কোন তরল পদার্থ নির্বাচন করিয়া লইতে হইবে যাহাতে কঠিন পদার্থটি দ্রবণীয় নয় ও যাহার সহিত কঠিন পদার্থটির কোন

রাসায়নিক ক্রিয়া হয় না। এখন এই সহায়ক তরল পদার্থের দ্বারা উপরোক্ত পদ্ধতিতে কঠিন পদার্থটির আপেক্ষিক গুরুত্ব (s_1) বাহির করিতে হইবে। কার্যনির্বাহী তরল পদার্থ টির আপেক্ষিক গুরুত্ব (s_2) হইলে, কঠিন পদার্থ টির প্রকৃত আপেক্ষিক গুরুত্ব, $s = s_1 \times s_2$।

(৩) নিকলসন্ হাইড্রোমিটারের সাহায্যে—ইতিপূর্বে বিভিন্ন-আয়তন-নিমজ্জনী সাধারণ হাইড্রোমিটারের কথা বলা হইয়াছে। নিকলসন্-হাইড্রোমিটার ঐরূপ হাইড্রোমিটার নহে, ইহা একটি নির্দিষ্ট-আয়তন-নিমজ্জনী হাইড্রোমিটার (চিত্র ৯৬)। ইহার কাণ্ডের মধ্যভাগ একটি ফাঁপা ধাতব চোঙ (A), দুই প্রান্ত শঙ্কুর আকৃতির। নীচের শঙ্কু হইতে একটি বক্রবন্ধনী (D)-র সাহায্যে একটি পাত্র (E) দৃঢ়ভাবে ধৃত আছে। এই পাত্রটিও শঙ্কু আকৃতির থাকে। ইহার নিম্ন ভাগ সীসা, পারা বা অনুরূপ কোন ভারী দ্রব্যে (ballast) পূর্ণ। উপরস্থ শঙ্কুর ডগায় একটি সরু দীর্ঘ গণ্ড আছে। ইহার শীর্ষে একটি প্যান (C) বসান আছে। নীচের অংশে ভারি দ্রব্য থাকায় হাইড্রোমিটারটি কোন তরল পদার্থে ডুবান হইলে ইহা খাড়া হইয়া ভাসিতে পারে। কাণ্ডের গণ্ডে একটি সূচকচিহ্ন (B) দেওয়া আছে। পরীক্ষাকালে সর্বদাই হাইড্রোমিটারটি এই দাগচিহ্ন (B) পর্যন্ত তরলে ডুবান হয় বলিয়া ইহাকে নির্দিষ্ট-আয়তন-নিমজ্জনী হাইড্রোমিটার বলে। একটি উঁচু মোটা জারের মধ্যে কোন তরল পদার্থ রাখিয়া উহার মধ্যে হাইড্রোমিটারটি দেওয়া হয়। জারের মাথায় একখানা খাঁজ-কাটা কার্ডবোর্ড (বাম চিত্র), অথবা একটি বেঁকান তার (ডাইন চিত্র) ধারক (arrester) হিসাবে ব্যবহার করা হয়।



চিত্র ৯৬

হাইড্রোমিটারের গণ্ড ঐ খাঁজের মধ্য দিয়া অবাধে উঠা-নামা করিতে পারে। কোন

কারণে হাইড্রোমিটারটি বেশি ডুবিয়া যাইতে থাকিলে, উপরের প্যান (C) এই খাঁজে আটকাইয়া যায় ও হাইড্রোমিটারটি আর ডুবিতে পারে না। হাইড্রোমিটারের প্রত্যেকটি সন্ধি খুব সতর্কতার সহিত করিতে হয় যাহাতে ভিতরে কোন জল প্রবেশ করিতে না পারে। হাইড্রোমিটারটিকে মনে করা যায় যেন একটি জলনিরুদ্ধ ফাত্না।

পরীক্ষা।—মনে কর, কোন একখণ্ড কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করিতে হইবে। জারটির মধ্যে উপযুক্ত পরিমাণ জল দিয়া উহার মধ্যে হাইড্রোমিটারটি ভাসিতে দাও। এখন উপরের প্যানে ক্রমে প্রমাণ ভর চাপাইয়া (ভরের বাক্স হইতে) হাইড্রোমিটারকে নির্দিষ্ট দাগ পর্যন্ত ডুবাও। মনে কর, ভর লাগিল, M_1 গ্রাম। ভাসিবার সময় হাইড্রোমিটারটি যেন জারের বা উপরের ধারকের গাত্রে না লাগে, এবং ভাল করিয়া দেখিও হাইড্রোমিটারের গায়ে যেন কোন বায়ু-বুদ্বুদ না থাকে। তারপর নিযুক্ত ঐ ভর সরাইয়া লও এবং উপরের প্যানে পরীক্ষণীয় বস্তুটি রাখ (কঠিন পদার্থটি হইতে এমন এক টুক্‌রা লইতে হইবে যাহাতে উহা চাপাইলে হাইড্রোমিটার উহার নির্দিষ্ট দাগ পর্যন্ত না ডোবে)। উপরের প্যানে প্রমাণ ভর চাপাইয়া ক্রমে ক্রমে উহা বাড়াইয়া হাইড্রোমিটারটিকে নির্দিষ্ট দাগ (B) পর্যন্ত আবার ডুবাও। মনে কর এবার প্রয়োজনীয় ভরের পরিমাণ হইল M_2 গ্রাম। তাহা হইলে, বস্তুটির বায়ুতে ভর $= (M_1 - M_2)$ গ্রাম ... ... (১)

এরপর চাপানো ভরগুলি সরাইয়া দিয়া হাইড্রোমিটারটিকে তুলিয়া কঠিন পদার্থটি নীচের প্যানে রাখ এবং হাইড্রোমিটারটি পুনঃ জলের মধ্যেও ডুবাও। এখন উপরের প্যানে ক্রমে ভর চাপাইয়া হাইড্রোমিটারটিকে পুনরায় নির্দিষ্ট দাগ পর্যন্ত ডুবাও। মনে কর, এবার M_3 গ্রাম ভর প্রয়োজন হইয়াছে। তাহা হইলে, বস্তুটির জলেতে ওজন $= (M_1 - M_3)$ গ্রাম। অতএব বস্তুটির সমান আয়তন জলের ভর = বস্তু দ্বারা স্থানচ্যুত জলের ভর = জলে নিমজ্জনজনিত বস্তুর ভারহ্রাস $= (M_1 - M_2) - (M_1 - M_3) = (M_3 - M_2)$ গ্রাম ... ... (২)

সমীকরণ (১) ও (২) হইতে, পরীক্ষণীয় পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব $= \dfrac{M_1 - M_2}{M_3 - M_2}$।

মন্তব্য : (ক) পরীক্ষণীয় পদার্থ জল অপেক্ষা হাল্‌কা হইলে উহাকে নীচের প্যানের সহিত একখণ্ড সূতা দিয়া বাঁধিয়া দিতে হইবে। পরীক্ষাটির অন্যান্য ব্যবস্থা একই রূপ হইবে। সূতার ভর খুবই সামান্য বলিয়া উহা গ্রাহ্য করার দরকার নাই।

(খ) কঠিন পদার্থটি জলে দ্রবণীয় হইলে, ইহা যাহাতে দ্রবণীয় নয় এইরূপ কোন তরল পদার্থ জারে লইতে হইবে। এখন s_1 যদি ব্যবহৃত তরল পদার্থের তুলনায় পরীক্ষণীয় পদার্থটির আপেক্ষিক গুরুত্ব হয় এবং s_2 ঐ তরল পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব হয়, তাহা হইলে, পরীক্ষণীয় পদার্থের প্রকৃত আপেক্ষিক গুরুত্ব, $s = s_1 \times s_2$ হইবে।

(৪) **ভাসনের সাহায্যে**—অনুচ্ছেদ ১৪৬ দেখ। এই পদ্ধতিতে কোন হাল্কা কঠিন পদার্থের ঘনত্ব, ρ গ্রাম, প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে, নির্ণীত হইলে, ইহার আপেক্ষিক গুরুত্ব হইবে ρ।

H. E. S.

১৫২। তরল পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব-নির্ণয় :—

(১) **উদ্‌তুলার (Hydrostatic Balance) সাহায্যে**—একখণ্ড কঠিন পদার্থ লও। ইহা যেন জল ও প্রদত্ত তরল পদার্থ অপেক্ষা ভারি হয় এবং ইহাদের সহিত রাসায়নিক ক্রিয়া না করে। বস্তুখণ্ডটির বায়ুতে ওজন (M_1 গ্রাম) বাহির কর। তারপর উহার জলেতে ওজন (জলে সম্পূর্ণ ডুবাইয়া) (M_2 গ্রাম) বাহির কর। তারপর প্রদত্ত তরল পদার্থে ডুবাইয়া উহার ওজন (M_3 গ্রাম) বাহির কর।

অতএব বস্তুর সম-আয়তন তরল পদার্থের ভর $= (M_1 - M_3)$ গ্রাম এবং বস্তুর সম-আয়তন জলের ভর $= (M_1 - M_2)$ গ্রাম।

সুতরাং, প্রদত্ত তরল পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব, $s = \dfrac{M_1 - M_3}{M_1 - M_2}$।

(২) **আপেক্ষিক-গুরুত্ব-শিশি দ্বারা**.—এইরূপ একটি শিশি পরিষ্কার করিয়া শুকাইয়া লও। ছিপিসমেত খালি শিশিটি লেবরেটরির তুলায় ওজন কর (M_1 গ্রাম)। তারপর উহা জল দিয়া পুরাপুরি ভর্তি কর এবং দ্বিতীয়বার উহার ওজন লও (M_2 গ্রাম)। এবার জল ফেলিয়া দিয়া শিশিটি পুনরায় শুকাইয়া লও এবং প্রদত্ত তরল দ্বারা উহা ভর্তি কর। এবার আবার শিশিটি ওজন কর (M_3 গ্রাম)।

তাহা হইলে, শিশির আয়তনের তরলের ওজন $= (M_3 - M_1)$ গ্রাম এবং

শিশির আয়তনের জলের ওজন $= (M_2 - M_1)$ গ্রাম।

সুতরাং, তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব, $s = \dfrac{(M_3 - M_1)}{(M_2 - M_1)}$।

(৩) **নিকলসন্ হাইড্রোমিটারের সাহায্যে**—হাইড্রোমিটারটি কোন তরল পদার্থে ডুবাইলে, স্থানচ্যুত তরল পদার্থের ভর হাইড্রোমিটারের ভরের সমান হইবে।

হাইড্রোমিটারটিকে সাধারণ তুলায় ওজন করিয়া উহার ভর (M গ্রাম) বাহির কর। তারপর জারের জলে ভাসাইয়া উহাকে নির্দিষ্ট দাগ পর্যন্ত ডুবাও। ডুবাইতে উপরের

প্যানে, মনে কর, M_1 গ্রাম ভর দিতে হইল। এখন হাইড্রোমিটারটি তুলিয়া লইয়া ভাল করিয়া মুছিয়া প্রদত্ত তরল পদার্থে দাও। এবার ইহাকে নির্দিষ্ট দাগ পর্যন্ত ডুবাইতে উপরের প্যানে, মনে কর, M_2 গ্রাম ভর দিতে হইল। তাহা হইলে,

হাইড্রোমিটারের নির্দিষ্ট আয়তন দ্বারা স্থানচ্যুত তরল পদার্থের ভর $=(M+M_2)$ গ্রাম।

হাইড্রোমিটারের নির্দিষ্ট আয়তন দ্বারা স্থানচ্যুত জলের ভর $=(M+M_1)$ গ্রাম।

অতএব, তরল পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব, $s=(M+M_2)/(M+M_1)$।

এই পরীক্ষার বিকল্প পদ্ধতি (তুলার সাহায্য না লইয়া)—একখণ্ড কঠিন পদার্থ লও। ইহা যেন প্রদত্ত তরল পদার্থে বা জলে দ্রবণীয় না হয় বা উহাদের সহিত রাসায়নিক ক্রিয়া না করে। এখন হাইড্রোমিটারটি জলে রাখ। উপরের প্যানে সহায়ক বস্তুখণ্ড ও প্রয়োজনীয় ভর (M_1 গ্রাম) চাপাইয়া হাইড্রোমিটারকে নির্দিষ্ট দাগ পর্যন্ত ডুবাও। তারপর বস্তুখণ্ডটি নীচের প্যানে রাখিয়া উপরের প্যানে যথোপযুক্ত ভর (M_2 গ্রাম) চাপাইয়া হাইড্রোমিটারকে নির্দিষ্ট দাগ পর্যন্ত আবার ডুবাও। অনুরূপ পদ্ধতিতে, হাইড্রোমিটারটি প্রদত্ত তরল পদার্থের মধ্যে নির্দিষ্ট দাগ পর্যন্ত ডুবাইবার জন্য বস্তুখণ্ড উপরের প্যানে রাখিয়া প্রয়োজনীয় ভর M_3 গ্রাম ও নীচের প্যানে রাখিয়া প্রয়োজনীয় ভর M_4 গ্রাম নির্ণয় কর।

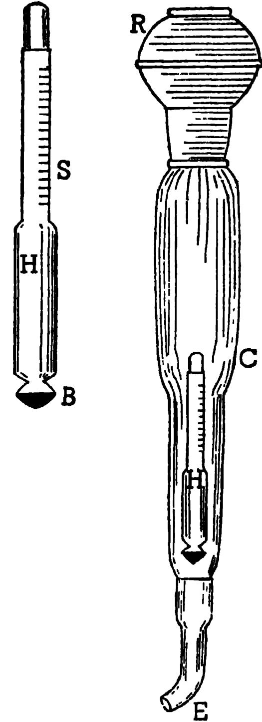
বস্তুখণ্ডের সম-আয়তন তরল পদার্থের ভর $=(M_4-M_3)$ গ্রাম,

এবং বস্তুখণ্ডের সম-আয়তন জলের ভর $=(M_2-M_1)$ গ্রাম।

সুতরাং, প্রদত্ত তরল পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব $=\dfrac{M_4-M_3}{M_2-M_1}$।

(৪) **সাম্য সৃষ্টিকারী দুই তরল স্তম্ভের নীতিতে** (By Balancing Columns)—অনুচ্ছেদ ১২৩ দেখ। মনে কর, বাম দিকের স্তম্ভে প্রদত্ত তরল পদার্থ আছে এবং ইহার ঘনত্ব $=\rho_2$ গ্রাম, প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে, এবং অন্য স্তম্ভের তরল পদার্থটির ঘনত্ব $=\rho_1$ গ্রাম, প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে। এখন প্রদত্ত তরল পদার্থের উচ্চতা h_2 এবং সহায়ক তরল পদার্থের (ডান বাহুতে) উচ্চতা h_1 হইলে, প্রদত্ত তরল পদার্থের (সহায়ক তরল পদার্থের তুলনায়) আপেক্ষিক গুরুত্ব $=\dfrac{\rho_2}{\rho_1}=\dfrac{h_1}{h_2}$ হইবে। মনে কর, সহায়ক তরল পদার্থটি হইল জল (প্রদত্ত তরল পদার্থ জলের সহিত মিশিবে না এইরূপ হওয়া চাই), অর্থাৎ এক্ষেত্রে $\rho_1=1$। তাহা হইলে, প্রদত্ত তরল পদার্থের প্রকৃত আপেক্ষিক গুরুত্ব, $\rho_2=\dfrac{h_1}{h_2}$ হইবে। যেসব তরল পদার্থ জলের সহিত মিশে না কেবলমাত্র তাহাদের ক্ষেত্রেই এই পদ্ধতি প্রযোজ্য।

(৫) **সাধারণ হাইড্রোমিটার** (বিভিন্ন-আয়তন-নিমজ্জনী বা নির্দিষ্ট ভরের হাইড্রোমিটার)-এর **সাহায্যে**.—অনুচ্ছেদ ১৪৭ পড়িয়া লও। চিত্র ৯৭-র বাম দিকে একটি সাধারণ হাইড্রোমিটার দেখান হইয়াছে। ইহা একটি চোঙাকৃতি নির্দিষ্ট ভরবিশিষ্ট সরু ফাত্না বিশেষ। তরল পদার্থে রাখিলে ইহা খাড়াভাবে ভাসিতে পারে। কোন নির্দিষ্ট তরল পদার্থে রাখিলে ইহার দেহ যে অবধি ডুবিবে তাহার দ্বারাই তরল পদার্থটির আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণীত হয়। ইহার পৃষ্ঠে একটি স্কেল (S) আঁকা থাকে। ইহার পাঠ হইতে তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব সরাসরি জানা যায় (অনুচ্ছেদ ১৪৭-এ দেখান হইয়াছে যে, নিমজ্জনের গভীরতা তরলের আপেক্ষিক গুরুত্বের সহিত বিপরীত অনুপাত রক্ষা করে)।



চিত্র ৯৭

শিল্পবাণিজ্যে আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়ের জন্য সাধারণ হাইড্রোমিটার ব্যাপকভাবে ব্যবহার করা হয়। বিভিন্ন কাজে ব্যবহৃত সাধারণ হাইড্রোমিটারের বিভিন্ন নাম বাজারে প্রচলিত আছে। দুধের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করার অনুরূপ যন্ত্রের নাম ল্যাকটোমিটার (lactometer)। দুধের আপেক্ষিক ঘনত্ব 1·029 হইতে 1·033-এর মধ্যে থাকে।* কোহলের আপেক্ষিক গুরুত্ব মাপা হয় যে যন্ত্রে তাহার নাম কোহলমিটার (alcoholometer)। সেকারোমিটার (saccharometer) যন্ত্র দ্বারা লবণাক্ত বা চিনির জলের, লবণের বা চিনির পরিমাণ মাপা যায়।

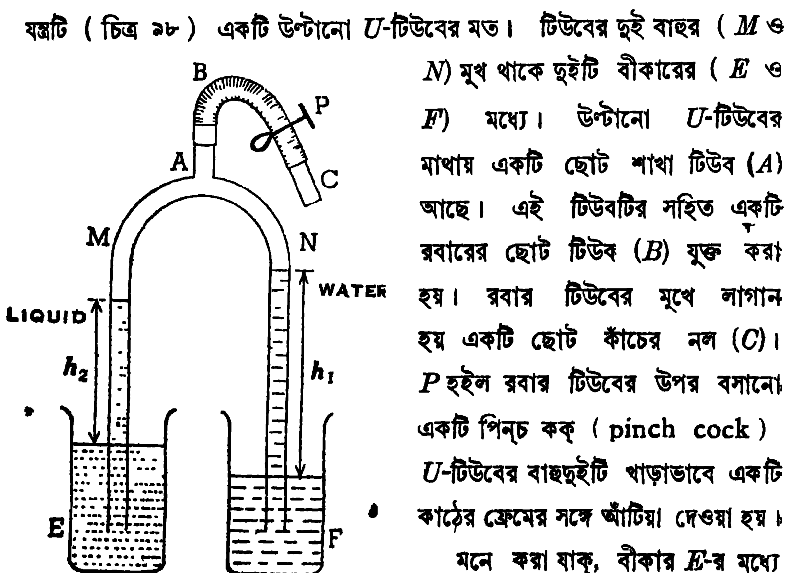
চিত্র ৯৭-র ডাইন দিকের অংশে একটি বিশেষ ধরণের সাধারণ হাইড্রোমিটার দেখান হইয়াছে। এ্যাকুমুলেটর (accumulator) বা স্টোরেজ সেলের (storage cell) সালফিউরিক

* কেবল আপেক্ষিক গুরুত্বের মান জানিয়া দুধের বিশুদ্ধতা সম্বন্ধে নিশ্চিত হওয়া চলে না। ননী-তোলা দুধের আপেক্ষিক গুরুত্ব সাধারণ দুধ অপেক্ষা বেশি। সুতরাং ননীতোলা দুধের সহিত জল মিশাইয়া ইহার আপেক্ষিক গুরুত্ব বিশুদ্ধ দুধের সমান করা যায়। দুধের বিশুদ্ধতা নির্ণীত হয় ইহার স্নেহপদার্থের (fat) অনুপাত দ্বারা।

অ্যাসিডের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়ের জন্য ইহা ব্যবহার করা হয়। এইজন্য ইহাকে 'অ্যাসিড পরীক্ষক' (acid tester) নাম দেওয়া হয়। এই যন্ত্রে হাইড্রোমিটারটি আছে একটি কাঁচের বহিরাবরণের (C) মধ্যে। C-র মুখে একটি রবার-জাতীয় সরু নল (E) লাগান হয়। আর C-র মাথায় বসান থাকে একটি রবারের টুপি (R)। R টিপিয়া ধরিলে কিছু বায়ু C হইতে বাহির হইয়া যায়। এই অবস্থায় যন্ত্রের মুখ (E) স্টোরেজ সেলে অ্যাসিডের মধ্যে ডুবাইতে হয়। তারপর R-এর উপর হইতে চাপ প্রত্যাহার করিলে বাহিরের বায়ুমণ্ডলের চাপে কিছু অ্যাসিড যন্ত্রের বহিরাবরণ C-র মধ্যে ঢোকে। এই অ্যাসিডের মধ্যে সাধারণ হাইড্রোমিটারটি (H) অ্যাসিডের আপেক্ষিক গুরুত্ব অনুযায়ী কিয়ৎপরিমাণ ডুবিয়া খাড়াভাবে ভাসিতে থাকে। হাইড্রোমিটারটি ক্যালিব্রেট করা থাকে। যে দাগ পর্যন্ত ইহা ডোবে তাহা দেখিয়া অ্যাসিডের আপেক্ষিক গুরুত্ব সরাসরি জানা যায়।

(৬) **হেয়ারের যন্ত্রের (Hare's apparatus) সাহায্যে।**—যে সকল তরল পদার্থ জলের সহিত মিশিয়া যায় তাহাদের ক্ষেত্রেও এই পদ্ধতি প্রয়োগ করা যায় বেশি ভারি নয় এইরূপ দুইটি তরল পদার্থের ঘনত্বের অনুপাত এই পদ্ধতির সাহায্যে সহজে নির্ণয় করা চলে।

যন্ত্রটি (চিত্র ৯৮) একটি উল্টানো U-টিউবের মত। টিউবের দুই বাহুর (M ও N) মুখ থাকে দুইটি বীকারের (E ও F) মধ্যে। উল্টানো U-টিউবের মাথায় একটি ছোট শাখা টিউব (A) আছে। এই টিউবটির সহিত একটি রবারের ছোট টিউব (B) যুক্ত করা হয়। রবার টিউবের মুখে লাগান হয় একটি ছোট কাঁচের নল (C)। P হইল রবার টিউবের উপর বসানো একটি পিন্‌চ কক্ (pinch cock) U-টিউবের বাহুদুইটি খাড়াভাবে একটি কাঠের ফ্রেমের সঙ্গে আঁটিয়া দেওয়া হয়।



চিত্র-৯৮

মনে করা যাক, বীকার E-র মধ্যে একটি তরল পদার্থ আছে। ইহার

আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করিতে হইবে। অন্য বীকারটিতে আছে জল। C মুখ দিয়া টানিয়া কিছু বায়ু বাহির করিয়া দিয়া পিন্‌চ্‌ কক্‌ আঁটিয়া দিলে, স্পষ্টতঃই বুঝিতেছ, U টিউবের মধ্যের বায়ুর চাপ বীকারের তরল পদার্থের উপর বায়ুমণ্ডলের চাপ অপেক্ষা কম হইবে। এই চাপের পার্থক্যহেতু দুইটি বীকার হইতেই তরল পদার্থ U-টিউবের দুই বাহুতে উঠিয়া স্থির অবস্থায় দাঁড়াইবে। চিত্র অনুযায়ী, M বাহুতে তরল-শীর্ষ বীকারের তরল পৃষ্ঠ হইতে h_2 উঁচুতে আছে। আর অপর বাহুতে জল-শীর্ষ বীকারের জলপৃষ্ঠ হইতে h_1 উঁচুতে আছে।

[h_1 = জলস্তম্ভের উচ্চতা; h_2 = তরল স্তম্ভের উচ্চতা; জলের ঘনত্ব $= \rho_1$; তরলের ঘনত্ব $= \rho_2$; P_A = বায়ুমণ্ডলের চাপ; p = U-টিউবের মধ্যে, উভয় তরলের উপরে, বায়ুর চাপ]। উভয় স্তম্ভই স্থির সাম্যে আছে বলিয়া,

বায়ুমণ্ডলের চাপ, $P_A = p + h_1 \rho_1 g = p + h_2 \rho_2 g$, [g = স্থানীয় অভিকর্ষজাত ত্বরণ]। তাহা হইলে, $h_1 \rho_1 g = h_2 \rho_2 g$।

$$\therefore \quad \frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{h_1}{h_2} \qquad \cdots \qquad \cdots \qquad \cdots \qquad (১)$$

অর্থাৎ, **তরল পদার্থদুইটির ঘনত্ব উহাদের স্তম্ভের উচ্চতার সহিত বিপরীত অনুপাতসম্পন্ন।**

দুইটি তরল পদার্থের ঘনত্বের তুলনা করিতে হইলে, দুই বীকারে তরল পদার্থ দুইটি রাখিয়া উপরোক্ত পরীক্ষা করিতে হইবে।

কোন তরল পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব বাহির করিতে হইলে, একটি বীকারে ঐ তরল পদার্থ ও অন্য বীকারে জল নিতে হইবে। সেক্ষেত্রে প্রদত্ত তরল পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব

$$= \frac{\text{উহার ঘনত্ব}}{\text{জলের ঘনত্ব}} = \frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{h_1}{h_2} \text{ হইবে।}$$

প্রদত্ত তরল পদার্থ জল অপেক্ষা ভারি হইলে জলস্তম্ভ এই তরল পদার্থটির স্তম্ভ অপেক্ষা অধিক উঁচু হইবে।

মন্তব্য ঃ সমীকরণ (১)-এর বৈধতা U-টিউবের বাহুর প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফলের উপর নির্ভর করে না ; কারণ, তরল পদার্থের চাপ স্তম্ভের প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল দ্বারা নির্ণীত হয় না। তাই U-টিউবের দুই বাহুর প্রস্থচ্ছেদ সমান হইবারও প্রয়োজন নাই। তবে খুব সরু টিউব অর্থাৎ কৈশিক নল নেওয়া উচিত নয়। খুব সরু টিউবের ক্ষেত্রে 'সারফেস্

টেন্‌সনের (surface tension) ক্রিয়ার ফলে দুই তরলের টিউবে অধিরোহণ বিভিন্ন মাত্রায় প্রভাবিত হয়। এইরূপ ক্ষেত্রে সমীকরণ (১) সংশোধন না করিয়া সরাসরি ব্যবহার করা চলে না।

মাপ লইবার সময় স্তম্ভদুইটি যেন স্থির ও খাড়া থাকে। পিন্‌চ-কক্‌ বন্ধ করিয়া দিবার পর যন্ত্রটি বায়ুনিরুদ্ধ হওয়া দরকার। নচেৎ পরীক্ষাকালে স্তম্ভদ্বয়ের উচ্চতা ক্রমেই কমিতে থাকিবে।

C-তে মুখ দিয়া টানিয়া বায়ু বাহির করিতে হয়। বেশি জোরে টানিলে তরল পদার্থ দুইটি সর্বোচ্চে উঠিয়া গিয়া মিশিয়া যাইতে পারে এবং পরীক্ষাটি নষ্ট হইতে পারে। তাই বিশেষ সতর্কতা-সহকারে ধীরে ধীরে বায়ু টানিয়া লইতে হইবে।

তরল পদার্থের স্তম্ভের উচ্চতা = টিউবে তরল শীর্ষের অবস্থান – বীকারে তরল পৃষ্ঠের অবস্থান। অনেকে ভুল করিয়া বীকারের তলা হইতে টিউবের তরলের উপরিপৃষ্ঠ পর্যন্ত মাপ নেয়। ইহা ভুল।

Examples

1. A piece of metal weighs 100 gms. in air and 88 gms. in water. What would it weigh in a liquid of sp. gr. 1·5 ?

উত্তর : ধাতুখণ্ডের সম-আয়তন জলের ওজন = 100 – 88 = 12 গ্রাম।

$$\text{ধাতুখণ্ডের আয়তন} = \frac{12 \text{ গ্রাম}}{1 \text{ গ্রাম, প্রতি ঘন সেণ্টিমিটারে}} = 12 \text{ ঘন সেণ্টিমিটার।}$$

$$\text{তরল পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব} = 1{\cdot}5 = \frac{12 \text{ ঘন সেণ্টিমিটার তরল পদার্থের ভার}}{12 \text{ ঘন সেণ্টিমিটার জলের ভার}}$$

$$= \frac{12 \text{ ঘন সেণ্টিমিটার তরল পদার্থের ভার}}{12 \text{ গ্রাম}}$$

∴ 12 ঘন সেণ্টিমিটার তরল পদার্থের ভার = 12 × 1·5 = 18 গ্রাম = তরল পদার্থের প্লবতা।

অতএব উক্ত তরল পদার্থে ধাতুখণ্ডটির ওজন = 100 – 18 = 82 গ্রাম।

2. A specific gravity bottle weighs 14·72 gms. when empty, 39·74 gms. when filled with water, and 44·85 gms. when filled with a solution of common salt. What is the sp. gr. of the solution ?

উত্তর : এক শিশি জলের ওজন = 39·74 – 14·72 = 25·02 গ্রাম।

এক শিশি লবণমিশ্রিত জলের ওজন = 44·85 – 14·72 = 30·13 গ্রাম।

$$\text{অতএব লবণমিশ্রিত জলের আপেক্ষিক গুরুত্ব} = \frac{30{\cdot}13}{25{\cdot}02} = 1{\cdot}204 \text{ ।}$$

3. A Nicholson's hydrometer sinks to a given mark in water when 3·32 gms. are placed on the upper pan and to the same mark in a liquid of sp. gr. 1·02 when 9·41 gms. are placed on the upper pan. Find the weight of the Nicholson's hydrometer.

উত্তর : নিকলসন্ হাইড্রোমিটারটির ভর M গ্রাম ও নির্দিষ্ট দাগ পর্যন্ত উহার আয়তন V ঘন সেণ্টিমিটার হইলে, $V=\dfrac{M+3\cdot32}{1 \text{ গ্রাম, প্রতি ঘন সেণ্টিমিটারে}}=(M+3\cdot32)$ ঘন সেণ্টিমিটার।

আবার, $V=\dfrac{M+9\cdot41}{1\cdot02}$ ঘন সেণ্টিমিটার।

$\therefore \quad \dfrac{M+9\cdot41}{1\cdot02}=M+3\cdot32$; বা; $M=301\cdot18$ গ্রাম ?

4. A block of wood of sp. gr. 0·85 floats in water. Some korosene of sp. gr. 0·82 is poured on the surface of water until the wooden block is completely immersed. Calculate the fraction of the block lying below the surface of water.

উত্তর : মনে কর, কাঠের টুক্‌রাটির v_1 ঘন সে মি. কেরোসিনে ও v_2 ঘন সে.মি. জলে আছে। তাহা হইলে কাঠের আয়তন $=(v_1+v_2)$ ঘন সে.মি.।

কেরোসিনের প্লবতা $=v_1$ ঘন সে.মি., কেরোসিনের ভার $=v_1\times0\cdot82$ গ্রাম।

জলের প্লবতা $=v_2$ ঘন সে.মি. জলের ভার $=v_2\times1=v_2$ গ্রাম।

সুতরাং, মোট প্লবতা $=(v_1\times0\cdot82+v_2)$ গ্রাম।

কাঠের টুক্‌রার ভার $=(v_1+v_2)\times0\cdot85$ গ্রাম। সুতরাং সাম্যের সর্ত অনুযায়ী,

$v_1\times0\cdot82+v_2=(v_1+v_2)\times0\cdot85$; বা $0\cdot15v_2=0\cdot03v_1$;

বা, $\dfrac{v_2}{v_1}=\dfrac{0\cdot03}{0\cdot15}=\dfrac{1}{5}$, বা, $\dfrac{v_2}{v_1+v_2}=\dfrac{1}{5+1}=\dfrac{1}{6}$ ।

সুতরাং টুক্‌রাটির $\dfrac{1}{6}$ অংশ জলে থাকিবে।

5. The stem of a common hydrometer is cylindrical and the highest graduation corresponds to a sp. gr. of 1·0 and the lowest 1·4. What sp. gr. corresponds to a point exactly midway between the divisions?

উত্তর : মনে কর, হাইড্রোমিটারটির ভর M গ্রাম এবং তলদেশ হইতে 1·4 আপেক্ষিক গুরুত্বের দাগ পর্যন্ত আয়তন V ঘন-সেণ্টিমিটার। 1·4 আপেক্ষিক গুরুত্বের তরল পদার্থে ডুবাইলে, ভাসনের সর্ত হইতে,

$M=V\times1\cdot4$ গ্রাম ... ... (১)

মনে কর, 1·4 দাগ হইতে 1·0এর দাগ পর্যন্ত হাইড্রোমিটারের অক্ষের দৈর্ঘ্য $=l$ এবং প্রস্থচ্ছেদের

ক্ষেত্রফল $=\alpha$ বর্গ সেন্টিমিটার (সর্বত্র সমান)। 1·0 আপেক্ষিক গুরুত্বের তরল পদার্থে ডুবাইলে, ভাসনের শর্ত অনুযায়ী,

$$M=(V+l\alpha)\times 1=(V+l\alpha) \text{ গ্রাম} \quad \ldots \quad \ldots \quad (২)$$

এখন মনে কর যে, s আপেক্ষিক গুরুত্বের তরল পদার্থে হাইড্রোমিটারটি রাখিলে উহা 1·4 ও 1 দাগের ঠিক মাঝামাঝি পর্যন্ত ডুবিয়া থাকিবে। তাহা হইলে,

$$M=(V+\frac{l}{2}\times\alpha)\, s \text{ গ্রাম} \quad \ldots \quad \ldots \quad (৩)$$

সমীকরণ (১) হইতে, $V=\frac{M}{1\cdot4}$ ঘন সেন্টিমিটার।

সমীকরণ (২) হইতে, $M=(V+l\alpha)=\frac{M}{1\cdot4}+l\alpha$; বা, $\frac{2}{7}M=l\alpha$।

সমীকরণ (৩) হইতে, $M=\left(\frac{M}{1\cdot4}+\frac{1}{2}\times l\alpha\right)s=\left(\frac{M}{1\cdot4}+\frac{1}{2}\times\frac{2}{7}M\right)s=\frac{6}{7}M\times s$;

$$\text{বা, } s=\frac{7}{6}=1\cdot167 \text{।}$$

সুতরাং 1·4 ও 1·0 দাগের ঠিক মধ্যবর্তী দাগ পর্যন্ত ডুবিতে হইলে সংশ্লিষ্ট তরল পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব হইবে 1·167.

Exercises

1. A hollow stopper made of glass of density 2·6 gm./c.c. is found to weigh 23·4 gms. in air, and 3·9 gm. in water. What is the volume of the air in the internal cavity of the stopper? উত্তর: 10·5 ঘন সেন্টিমিটার।

2. A sp. gr. bottle weighs 12·64 gms. when empty and 61·54 gms. when some pieces of iron are put into it. When the rest of the bottle is filled up with water the bottle weighs 80·02 gms. When the bottle is filled completely with water only, it is found to weigh 37·6 gms. What is the sp. gr. of iron? উত্তর: 7·54।

3. A Nicholson's hydrometer sinks to a certain mark in a liquid of sp. gr. 0·6, but it requires 120 gms. on it to sink to the same mark in water. What is the weight of the hydrometer? উত্তর: 180 গ্রাম।

4. A glass tube 30 cm. long and $\frac{1}{2}$ sq. cm. in cross-section is closed at one end; its weight is 4 gms. and 10 gms. of mercury are poured into it. What will be the sp. gr. of a liquid in which it floats vertically with 2 cm. length of its stem above the surface? উত্তর: 1

5. A common hydrometer is cylindrical and the range of the instrument is 1·0 to 1·25. Find the sp. gr. of a liquid in which the instrument floats with $\frac{1}{4}$ of it exposed? উত্তর: 1·05.

.. The cross-sections of the arms of a U-tube are 2 sq. cm. and 1 sq. cm. the U-tube is placed vertically. A quantity of mercury of sp. gr. 13·56 is poured into the U-tube. Find the height through which mercury will descend in the wider arm when 52 c.c. of water is poured into it ? উত্তর : 0·95 সে.মি.।

7. A test tube is loaded with shots so that it floats in alcohol immersed to a mark on the tube, the tube and shots weighing 17·1 gm. The tube is then placed in water and shots added to sink it to the same mark. The tube and the shots now weigh 20·3 gm. Find the sp. gr. of alcohol ? উত্তর : 0·84

8. A cylindrical tube 1 metre long and 1 cm. in internal diameter weighs 100 gm. when empty and 150 gm. when filled up with a liquid. Find the sp. gr. of the liquid ? উত্তর : 0·636.

9. A U-tube contains some mercury at the bottom. Water is poured into one limb and oil into the other. When the heights of the columns are respectively 7·6 cm. and 9·5 cm., the mercury stands at the same level in both the limbs. Find the density of the oil ? উত্তর : 0·8 গ্রাম, প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে ।

নবম পরিচ্ছেদ

বায়ুমণ্ডলের চাপ

১৫৩। পৃথিবীর বায়ুমণ্ডল ঃ—পৃথিবীর পরিমণ্ডল কতকগুলি গ্যাসের সমবায়ে গঠিত। এই নানা গ্যাসসমন্বিত পরিমণ্ডলকেই আমবা বায়ুমণ্ডল এবং ঐ গ্যাসসমষ্টিকে আমরা বায়ু বলিয়া থাকি। বায়ুমণ্ডলকে আমরা দেখিতে পাই না। তবু ইহা সদা বর্তমান থাকিয়া আমাদের জীবনধারণ সম্ভব করিয়া তুলিতেছে। বায়ু যখন প্রবাহিত হয়, বা বিজলী পাখা ঘুরাইয়া বায়ু সঞ্চালিত করা হয় তখন আমরা ইহার অস্তিত্ব টের পাই।

বায়ু কয়েকটি গ্যাসের এক সাধারণ মিশ্রণ। ইহার অধিকাংশই নাইট্রোজেন ও অক্সিজেন। তাহা ছাড়া কিছু কিছু জলীয় বাষ্প, আর্গন, কার্বন ডাই-অক্সাইড, অ্যামোনিয়া, নিয়ন, ক্রিপ্‌টন, জেনন, হিলিয়াম ও ওজোন (ozcne) বিভিন্ন অনুপাতে বিভিন্ন স্থানে ইহাতে পাওয়া যায়। মোটামুটিভাবে বায়ুর গঠন নিম্নোক্তরূপ বলা যায় ঃ

	ভার হিসাবে	আয়তন হিসাবে
অক্সিজেন	23%	21%
নাইট্রোজেন	77%	79%

জলীয় বাষ্পের পরিমাণ কম থাকিলে বায়ুকে শুষ্ক বলা হয়। অধিক জলীয় বাষ্প-সমন্বিত বায়ুকে আর্দ্র বায়ু বলা হয়।

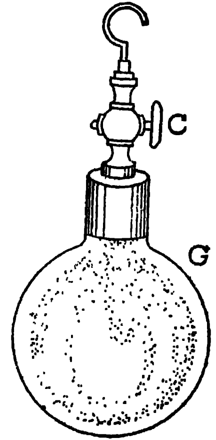
অন্যান্য পদার্থের মত বায়ুরও ভার আছে (বা ইহা অভিকর্ষবলের অধীন)। উত্তাপ দিলে ইহার আয়তন বাড়ে (বা ঘনত্ব কমে) এবং ঠাণ্ডা করিলে ইহার আয়তন কমে (বা ঘনত্ব বাড়ে)।

পৃথিবীর বায়ুমণ্ডল একটি গ্যাস-বলয় বটে, কিন্তু তাই বলিয়া ইহা অন্তহীনভাবে প্রসারিত হইতে পারে না। অভিকর্ষবল ইহাকে নির্দিষ্ট সীমার মধ্যে ধরিয়া রাখে। বায়ুমণ্ডলের ঊর্ধ্ব সীমা কতদূর পর্যন্ত বিস্তৃত তাহা আমাদের সঠিক জানা নাই। তবে উপরের দিকে পৃথিবীপৃষ্ঠ হইতে 250 মাইল পর্যন্ত বায়ুর অস্তিত্ব আছে বলিয়া আমরা ধরিয়া লই। যত উপরে যাওয়া যায় বায়ুর ঘনত্ব তত কমিতে থাকে। এই ঘনত্ব কমিতে কমিতে অবশেষে উহা শূন্য ঘনত্বে পরিণতি লাভ করে। পৃথিবীপৃষ্ঠে আমরা

একটি বিরাট বায়ুসমুদ্রের তলদেশে বাস করিতেছি। এই বায়ুসমুদ্রের উপরিপৃষ্ঠে আছে পদার্থহীন মহাব্যোম।

১৫৪। **বায়ুর ভার** :—গ্যাসীয় পদার্থ বলিয়া বায়ু হাল্‌কা বটে কিন্তু ইহারও ভার আছে।

অটো ভন্ গেরিক পরীক্ষার দ্বারা সর্বপ্রথম প্রমাণ করিয়াছিলেন যে, বায়ুর ভার আছে। পরীক্ষাটি নিম্নরূপে করা যাইতে পারে। মুখে স্টপ্ কক্ (*C*) লাগানো একটি কাঁচের গ্লোব (*G*) নাও (চিত্র ৯৯)। একটি বায়ুপাম্পের সাহায্যে এই গ্লোব হইতে বায়ু যতটা সম্ভব বাহির করিয়া নাও। তারপর একটি সূক্ষ্ম তুলা দ্বারা গ্লোবটির ভার নির্ণয় কর। এবার স্টপ্ কক্ খুলিয়া দাও। ইহা আবার বায়ু পূর্ণ হইবে। গ্লোবটি এখন দ্বিতীয় বার ওজন করিলে দেখিবে যে, গ্লোবটির ভার বাড়িয়া গিয়াছে। বায়ুর ভার না থাকিলে এরূপ হইতে পারিত না।



চিত্র ৯৯

আর-একটি সহজ পরীক্ষা—একটি হাল্‌কা ধরণের কাঁচের বড় ফ্লাস্ক লও। জল দিয়া উহা ভর্তি করার পর ইহার মুখ ছিপি দিয়া বন্ধ কর। ছিপির মধ্য দিয়া একটি কাঁচের নল ঢুকাইয়া দাও। নলের মুখে একটি রবারের টিউব লাগাও এবং টিউবটির উপরে একটি ক্লিপ লাগাইয়া রাখ। নলের মুখ খোলা রাখিয়া ফ্লাস্কের জল ফুটাইতে থাক। জলীয় বাষ্পের সহিত ক্রমে বায়ুও ফ্লাস্ক হইতে বিতাড়িত হইবে। কিছু সময় পরে ক্লিপটি আঁটিয়া দাও। জল ঠাণ্ডা হইলে ফ্লাস্কটি ওজন কর। এবার ক্লিপটি খুলিয়া দিয়া ভিতরে বায়ু প্রবেশ করিতে দাও এবং ফ্লাস্কটি আবার ওজন কর। দেখিবে যে দ্বিতীয় বারের ওজন প্রথমবারের ওজন অপেক্ষা বেশি হইয়াছে। বায়ুর ভার আছে বলিয়া এরূপ হইবে।

১৫৫। **বায়ুমণ্ডলের চাপ** (Atmospheric Pressure) :—বায়ুর ভার আছে বলিয়া সংলগ্ন যে-কোন পদার্থের উপরই ইহা চাপ দিবে। উদ্‌স্থিতিবিদ্যায় বলা হইয়াছে যে, তরল পদার্থের অন্তঃবর্তী যে-কোন বিন্দুতেই চাপ সর্বদিকে সমানভাবে বিদ্যমান। বায়ুমণ্ডলের মধ্যেও যে-কোন বিন্দুতে চাপ সর্বদিকে সমান। সমগ্র বায়ুমণ্ডলকে আমরা পর পর সন্নিবেশিত অসংখ্য স্তরের এক বায়ুসমষ্টি বলিয়া কল্পনা করিতে পারি। পৃথিবীপৃষ্ঠকে বা যে-কোন একটি বায়ু-স্তরকেই ইহার

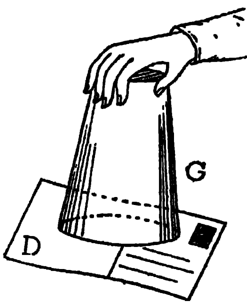
উপরে অবস্থিত অন্য সব বায়ুস্তরের ভার সহিতে হয়; অর্থাৎ, ইহারা উপরে অবস্থিত ভারের চাপের অধীন। এই চাপকেই বায়ুমণ্ডলের চাপ বলা হয়। বায়ুমণ্ডলের নিম্ন স্তরে চাপ বেশি হইবে, আবার উপরে উঠিতে থাকিলে চাপ কমিবে। একই অনুভূমিক তলে বায়ুর চাপ একই হইবে।

অতএব আমরা বলিতে পারি যে, কোন স্থানে একক ক্ষেত্রফলের উপর খাড়াভাবে দণ্ডায়মান বায়ুমণ্ডলের সমান উচ্চ এক বায়ুস্তম্ভের ভারই হইল ঐ স্থানে বায়ুমণ্ডলের চাপ। সমুদ্রপৃষ্ঠে এই চাপের স্বাভাবিক মান প্রায় 15 পাউণ্ড-ভার, প্রতি বর্গ ইঞ্চিতে, বা $1{\cdot}013 \times 10^6$ ডাইন, প্রতি বর্গ সেন্টিমিটারে।

১৫৬। বায়ুমণ্ডলের চাপের অস্তিত্ব প্রমাণ করিবার কয়েকটি সহজ পরীক্ষা :—

(১) একটি বড় পাত্রে জল নাও। একটি খালি কাঁচের গ্লাস মুখ নীচু করিয়া ঐ জলের মধ্যে ধীরে ধীরে ডুবাও। দেখিবে যে, ভিতরের জলের উচ্চতা বাহিরের জলের উচ্চতা অপেক্ষা কম। ইহার কারণ কি? গ্লাসের বদ্ধ বায়ুর আয়তন ক্রমে কমাইবার ফলে ভিতরের জলের উপর চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপ অপেক্ষা বাড়িয়া যায় বলিয়াই এরূপ ঘটে।

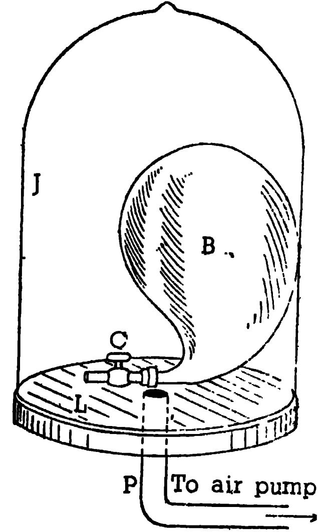
(২) চিত্র ১০০-তে G একটি কাঁচের গ্লাস। ইহাকে মুখ উঁচু করিয়া প্রথমতঃ কানায় কানায় জল দ্বারা পূর্ণ কর। তারপর খুব সতর্কতার সহিত একখানি সমতল কার্ড (D) এক পাশ হইতে ঠেলিয়া দিয়া গ্লাসের মুখ বন্ধ কর। D যেন জলের সহিত ঠিক ঠিক লাগিয়া গ্লাসের মুখ বন্ধ করিয়া থাকে এবং কার্ড ও জলের মধ্যে কোন আবদ্ধ বায়ু না থাকে। এবার গ্লাসটি ধীরে ধীরে উল্টাইয়া ধর। দেখিবে কার্ডখানি লাগিয়াই থাকিবে, গ্লাসের মুখ নীচের দিকে থাকা সত্ত্বেও জল পড়িয়া যাইবে না। কার্ডখানির নীচে বায়ুমণ্ডলের ঊর্ধ্ব চাপের দরুণই জল পড়িতে পারে না।



চিত্র ১০

মন্তব্য : কার্ড দেওয়ার দরকার এই যে, কার্ড না থাকিলে জলের পৃষ্ঠ সমতল হইত না। জলের মধ্যে বায়ুর বুদ্বুদ থাকিলে এই পরীক্ষা সফল হওয়া অসম্ভব।

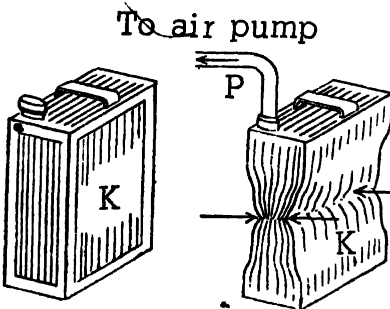
(৩) একটি ছোট বেলুনে (B) খানিকটা বায়ু আছে (চিত্র ১০১)। বেলুনটির মুখ বন্ধ করিয়া ইহাকে বায়ুপাম্পের রিসিভারের মধ্যে (প্লেট Lএর উপর) রাখা হইয়াছে। এখন পাম্প চালাইলে নির্গমনল Pর মধ্য দিয়া রিসিভার Jর ভিতর হইত বায়ু ধীরে ধীরে বাহির হইয়া যাইবে ও জারের মধ্যের বায়ুর চাপ কমিতে থাকিবে। ফলে বেলুনটি ভিতরের চাপে ধীরে ধীরে ফুলিতে থাকিবে এবং কিছুক্ষণ পাম্প চলিলে অবশেষে উহা ফাটিয়া যাইবে।



চিত্র ১০১

ব্যাখ্যা।—পাম্প চালাইবার পূর্বে বেলুনের ভিতরের চাপ ও বাহিরের চাপ সমান সমান। উহারা পরস্পরকে নাকচ করে। রিসিভারের বায়ুচাপ পাম্প করিয়া ক্রমে কমাইতে থাকিলে বেলুনের ভিতরের বায়ুচাপ বেশি বলিয়া পর্দা ঠেলিয়া ভিতরের বায়ু আয়তনে বাড়িতে থাকে। বেলুনটি ফুলিয়া যাওয়ার অর্থ ইহাই। ফুলিতে ফুলিতে বেলুনের পর্দা শেষ পর্যন্ত ফাটিয়া যাইবে। এই পরীক্ষা হইতে ইহাও বুঝা যায় যে, বায়ুচাপ সর্বদিকে সমভাবে কাজ করে।

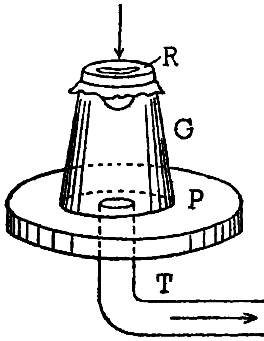
(৪) একটি টিনের বাক্স (K) লও (চিত্র ১০২)। ইহার সন্ধিগুলি যেন বায়ু-নিরুদ্ধ হয়। বাক্সের মুখ বায়ুপাম্পের সহিত যুক্ত করিয়া (চিত্র ১০২-র ডান ভাগ দেখ) উহার মধ্য হইতে বায়ু বাহির করিতে থাক। দেখিবে যে, পাত্রের চারিদিকের দেওয়াল ভিতর দিকে তুমড়াইয়া যাইতেছে।



চিত্র ১০২

ব্যাখ্যা।—বাক্সটি বায়ুতে পূর্ণ থাকিলে ভিতর ও বাহিরের চাপ সমান থাকে। তাই বাক্স অবিকৃত থাকে। ভিতর হইতে বায়ু বাহির করিয়া

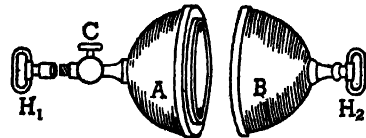
চাপ কমাইয়া দিলে, বাহিরের বায়ুর চাপে পাত্রের টিনের পাত্‌লা দেওয়ালগুলি ভিতরের দিকে বাঁকিয়া যায়।



চিত্র ১০৩

(৫) একটি দুই-মুখ-খোলা কাঁচের চোঙ (G) লও (চিত্র ১০৩)। ইহার একমুখে একখানি রবাবের পর্দা (R) ভাল করিয়া বায়ুনিরুদ্ধ ভাবে বাঁধ। অন্য মুখটি বায়ু-পাম্পের প্লেট Pর উপর চাপিয়া রাখ [চোঙের কানায় গ্রীজ মাখাইয়া দিলে ভাল হয়]। এখন পাম্প চালাইলে রবারের পর্দাটি ক্রমেই ভিতরের দিকে ঝুলিয়া পড়িবে ও অবশেষে ফাটিয়া যাইবে। ইহার কারণ এই যে, গ্লাসের ভিতরের বায়ু সরাইয়া লইলে তথাকার চাপ অত্যন্ত কমিয়া যায় ও বাহিরের চাপ বেশি বলিয়া রবারের পর্দাটি ভিতর দিকে সম্প্রসারিত হইতে হইতে শেষ পর্যন্ত ফাটিয়া যায়। এই পরীক্ষায় বায়ুমণ্ডলের নিম্নচাপের পরিচয় পাওয়া যায়।

(৬) **মাগ্‌ডেবার্গ অর্ধগোলক পরীক্ষা** (**Magdeburg hemisphere experiment**).—চিত্র ১০৪-এর A ও B অংশ দুইটি হইল দুইটি অর্ধ-গোলক। ইহাদের মুখ এমন করিয়া খাঁজ কাটা ও পালিশ করা যে একত্র করিলে ইহারা মুখে মুখে বায়ুনিরুদ্ধভাবে লাগিয়া যায়। অর্ধ-গোলক Aর সহিত একটি পাইপ যুক্ত আছে এবং এই পাইপে একটি স্টপ্‌ কক্‌ (C) লাগান আছে। উভয় অর্ধ-গোলকের প্রান্তেই একটি করিয়া আংটা (H_1, H_2) লাগান যায়। A ও Bর মুখে ভাল করিয়া গ্রীজ লাগাইয়া উহাদের একত্র করিয়া দাও। ইহাতে ইহারা বায়ুনিরুদ্ধভাবে পরস্পরের সহিত আঁটিয়া থাকিবে। প্রথমতঃ,



চিত্র১০৪

আংটা H_1 খুলিয়া লইয়া স্টপ্‌ কক্‌ C খুলিয়া দিয়া মিলিত অর্ধ-গোলক-দুইটির ভিতরের বায়ু পাম্পের সাহায্যে বাহির করিতে থাক। তারপর স্টপ্‌ কক্‌টি বন্ধ কর ও আংটা H_1 লাগাইয়া দাও। এখন দেখিবে আংটাদুইটি ধরিয়া অর্ধ-গোলক-দুইটিকে বিপরীত

দিকে টানিলে উহাদিগকে পরস্পর হইতে বিচ্ছিন্ন করিতে প্রচণ্ড বল প্রয়োগ করিতে হইবে। কিন্তু স্টপ্ কক্ C খুলিয়া দিয়া পুনরায় ভিতরে বায়ু ঢুকিতে দিলে স্বল্প আয়াসেই অর্ধ-গোলক-তুইটিকে পৃথক করা যাইবে।

ব্যাখ্যা।—অর্ধ-গোলক-তুইটির ভিতরে বায়ু থাকিলে, বাহিরের ও ভিতরের বায়ুর চাপ সমান সমান। ফলে গোলক-তুইটিকে পৃথক করিতে অধিক বল লাগে না; কিন্তু ভিতরের বায়ু বাহির করিয়া লইলে, বাহিরের চাপই শুধু থাকে। বায়ুমণ্ডলের চাপের মান বেশ বেশি। ফলে, এই চাপের দ্বারা সৃষ্ট বলের বিরুদ্ধে অর্ধ-গোলক-তুইটিকে বিচ্ছিন্ন করিতে প্রচণ্ড বল প্রয়োগ করিতে হয়।

ব্যাস যত বড় হইবে অর্ধ-গোলক-তুইটিকে পৃথক করিতে (বায়ু বাহির করিয়া দিবার পর) তত অধিক বলের প্রয়োজন হইবে। অটো ভন্ গেরিক 22 ইঞ্চি ব্যাসের তুইটি অর্ধ-গোলককে লইয়া পরীক্ষা করিয়াছিলেন। এই পরীক্ষা করার সময় তিনি বায়ু-নিষ্কাশন যন্ত্র প্রথম তৈয়ারি করেন। তিনি ছিলেন প্রুশিয়ার একজন বিখ্যাত পদার্থ-বিদ, এবং ম্যাগ্‌ডেবার্গ সহরের মেয়র। ১৬৫৪ খৃষ্টাব্দে রিজেনস্‌বুর্গ সহরে এই পরীক্ষা অনুষ্ঠিত হয়। ইহাতে সম্রাট্ তৃতীয় ফার্ডিনাণ্ড উপস্থিত ছিলেন। তিনি সবিস্ময়ে দেখিলেন তুই দিকে ষোলটি ষোলটি করিয়া মোট ৩২টি ঘোড়াও গেরিকের অর্ধ-গোলক-তুইটিকে বিচ্ছিন্ন করিতে পারিল না। ম্যাগডেবার্গ সহরের নাম অনুসারেই এই পরীক্ষাকে ম্যাগ্‌ডেবার্গ অর্ধ-গোলক পরীক্ষা বলা হয়।

(৭) **উল্টানো বুরেটের পরীক্ষা** (Inverted burette experiment).—একটি বুরেট লইয়া উহার স্টপ্ কক্ বন্ধ করিয়া দাও [চিত্র ২৮ (c) দেখ]। এবার ইহাতে জল ভর্তি কর। বুড়া আঙ্গুল দিয়া মুখ চাপিয়া রাখিয়া বুরেটটিকে উল্টাইয়া উহার খোলা মুখ একটি বড় বীকারে-রাখা জলের মধ্যে ডুবাও। আঙুল সরাইলেও দেখিবে যে, বুরেটের মধ্যের জলস্তম্ভ স্থিরই থাকে, পড়িয়া যায় না [স্টপ কক্ ও বুড়ো আঙ্গুলের ঢাকা বায়ুনিরুদ্ধ না হইলে পরীক্ষাটি সফল হইবে না]। ইহার কারণ কি? বীকারের জলপৃষ্ঠের উপর বায়ুমণ্ডলের চাপ আছে। এই চাপ জলের মধ্য দিয়া সঞ্চারিত হইয়া জলস্তম্ভের নিম্ন চাপকে নাকচ করিয়া দিতে সক্ষম। এইজন্যই জলস্তম্ভ পড়িয়া যায় না। বায়ুমণ্ডলের চাপ প্রায় 34 ফুট উচ্চ জলস্তম্ভকে এইরূপে ধরিয়া রাখিতে পারে।

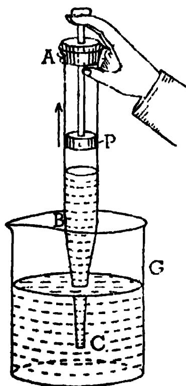
স্টপ্ কক্ খুলিয়া দিলে জলস্তম্ভের উপরে বুরেটের মধ্যে বায়ু প্রবেশ করে। এখন জলস্তম্ভের উপরের বায়ুর চাপ ইহার নীচের বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান হওয়ায়

জলস্তম্ভটিকে ধারণ করিয়া রাখার আর কেহ থাকে না। ফলে, আপন ভারে জলস্তম্ভটি পড়িয়া যায়।

১৫৭। বায়ুশূন্য খাড়া টিউবে তরল পদার্থের অধিরোহণ (**Rise of a liquid in an evacuated vertical tube**) :—

একটি টিউবের একপ্রান্ত সরবতে ডুবাইয়া অন্যপ্রান্তে মুখ দিয়া টানিয়া সরবত খাওয়া যায়। সিরিঞ্জ বা পিচকারির সূচীমুখ তরল পদার্থে ডুবাইয়া পিস্টনটিকে ব্যারেলের মধ্য দিয়া বাহিরের দিকে টানিয়া লইলে (চিত্র ১০৫), তরল পদার্থ সিরিঞ্জের মধ্যে উঠে। এসব কিরূপে সম্ভব হয়?

গ্রীক্ মনীষী অ্যারিস্টট্ল এইরূপ ঘটনার এক ব্যাখ্যা দিয়াছিলেন। তিনি বলিয়াছিলেন, 'প্রকৃতি শূন্যতা সহে না' (Nature abhors vacuum)। এইজন্য কোন স্থান শূন্য হইয়া গেলে তাহা স্বতঃই নিকটবর্তী পদার্থে পূর্ণ হইয়া উঠে। কিন্তু দেখা যায় যে, শূন্য টিউবের মধ্যে জল 34 ফুটের উপরে উঠে না। তবে কি 34 ফুট জলের উপরের শূন্য স্থান সম্বন্ধে প্রকৃতি কোন ব্যবস্থা অবলম্বন করে না? ইহা হইতে অ্যারিস্টট্লের ঐ মতের অসারতা বুঝা যায়। প্রকৃত কারণটি নির্ধারণ করিবার জন্য ইতালীর পদার্থবিদ্ ইভানগালিস্তা টরিসেলি (Evangalista Torricelli) ১৬৪৩ খৃষ্টাব্দে এক প্রামাণ্য পরীক্ষা করিয়া গিয়াছেন। তিনি দেখাইলেন যে, একটি বায়ু-শূন্য খাড়া টিউবের মধ্যে তরলের অধিরোহণের কারণ হইল বায়ুমণ্ডলের চাপ। টিউবের মধ্য হইতে বায়ু অপসারিত হইলে পাত্রস্থ তরলের পৃষ্ঠের উপর বায়ুমণ্ডলের চাপে পাত্র হইতে তরল পদার্থ টিউবের (বা সিরিঞ্জের) মধ্যে উঠে। যে উচ্চতায় তরলস্তম্ভের নিম্ন চাপ বায়ুমণ্ডলের সৃষ্ট ঊর্ধ্ব চাপের সমান হয়, তাহার পর তরলস্তম্ভ আর উপরে উঠে না, উহার উচ্চতা স্থির হইয়া থাকে।



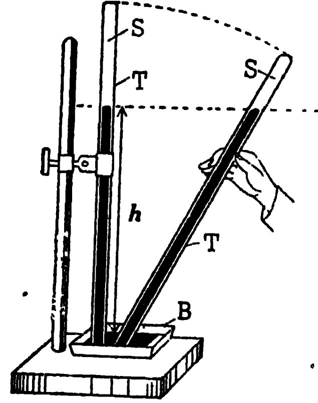
চিত্র ১০৫

১৫৮। টরিসেলীর পরীক্ষা (**Torricelli's experiment**): **সরল ব্যারোমিটার** (**Simple barometer**) :—

(ক) টরিসেলীর পরীক্ষা।—

(১) পুরু গাত্রবিশিষ্ট মাঝারি প্রস্থচ্ছেদের একমুখ খোলা একটি কাঁচের টিউব (*T*)

লও (চিত্র ১০৬)। টিউবটির দৈর্ঘ্য এক মিটারের কাছাকাছি হওয়া আবশ্যক। টিউবটি বিশুদ্ধ পারা দিয়া ভর্তি কর এবং ভিতরে যেন কোন বায়ুবুদ্বুদ না থাকে। পারদ ভরার পর খোলা মুখটি বুড়া আঙুল দিয়া চাপিয়া ধর। এবার টিউবটি উল্টাইয়া বুড়া আঙ্গুলসহ ঐ মুখ এক পাত্র (B) পারার মধ্যে ডুবাইয়া দেও। এরপর বুড়া আঙুল সরাইয়া লও। দেখিবে, টিউবের পারা সামান্য নামিয়া স্থির হইয়া দাঁড়াইয়া থাকিবে। পারদস্তম্ভের খাড়া উচ্চতা (h) প্রায় 76 সেন্টিমিটার হইবে (পরীক্ষাস্থল সমুদ্রপৃষ্ঠের সম-উঁচু হইলে)।



চিত্র ১০৬

(২) টিউবটিকে ধীরে ধীরে খানিকটা উপরে উঠাও। টিউবের খোলা মুখ যেন পাত্রের পারার মধ্যে ডুবানই থাকে। ইহাতে টিউবের মধ্যের পারার উপরের স্থানের আয়তন বাড়িবে বটে কিন্তু পাত্রস্থ পারার পৃষ্ঠ হইতে পারদস্তম্ভের খাড়া উচ্চতা সমানই থাকিবে।

(৩) পাত্রটি গভীর হইলে, টিউবটি ধীরে ধীরে পারার মধ্যে ক্রমে ডুবান যাইবে। ইহাতে পারদস্তম্ভের খাড়া উচ্চতার মানের কোন হ্রাসবৃদ্ধি ঘটিবে না [টিউবটির মধ্যে কোন গ্যাস থাকিলে অর্থাৎ টিউবটি বায়ুশূন্য না থাকিলে, টিউবটি নামাইলে পারদস্তম্ভের উচ্চতা কিছু কমিবে]।

(৪) টিউবটি চিত্র ১০৬-এ প্রদর্শিত ধরণে হেলাইলে, টিউবের পারার উপরস্থ শূন্য স্থানের আয়তন কমিবে, কিন্তু পারদস্তম্ভের খাড়া উচ্চতা (h) সর্বদাই এক থাকিবে।

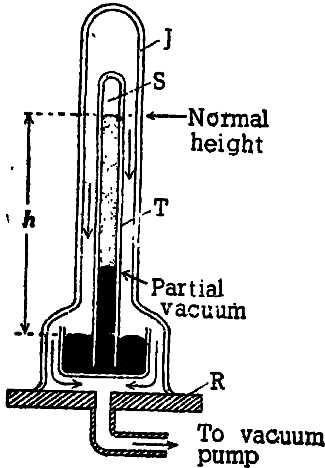
(৫) টিউবটি যথেষ্ট হেলাইয়া ফেলিলে পারা টিউবের মাথায় পৌঁছিয়া উহাকে আঘাত করিবে। ইহাতে ধাতব ধ্বনির মত শব্দ সৃষ্টি হয়। পারার উপরে কোন গ্যাস থাকে না তাই এরূপ ঘটে। সামান্য পরিমাণ পারদবাষ্প ঐ স্থানে থাকে বটে। কিন্তু উহার চাপ নগণ্য বলিয়া টিউবের মধ্যস্থ পারার উপরের **ঐ স্থানকে শূন্য স্থান** (**vacuum**) বলিয়া ধরা যায়। এই শূন্য স্থানকে টরিসেলীর শূন্য স্থান বলে।

ব্যাখ্যা—পাত্রের পারদপৃষ্ঠের উপর বায়ুমণ্ডলের নিম্ন চাপ বিদ্যমান। এই চাপ প্যাস্‌কেলের সূত্র অনুযায়ী মানে অপরিবর্তিত থাকিয়া সর্বদিকে সঞ্চালিত হয়। পারদ-

স্তম্ভের খাড়া নিম্নচাপ বায়ুমণ্ডলের প্রযুক্ত উর্ধ্বচাপ দ্বারা নাকচ হয়। পারদস্তম্ভের চাপ = পারদস্তম্ভের উচ্চতা × পারদের ঘনত্ব × স্থানীয় অভিকর্ষজাত ত্বরণ। অতএব বায়ুমণ্ডলের চাপও ইহার সমান।

মনে রাখিও যে, পারদস্তম্ভের উচ্চতাই উহার চাপ নির্ণয় করে, স্তম্ভের প্রস্থচ্ছেদের উপর ইহা নির্ভর করে না। এইরূপ একটি পারদপূর্ণ টরিসেলীর টিউব ও পারদের পাত্রের সাহায্যে বায়ুমণ্ডলের চাপ সহজেই মাপা যায় বলিয়া ইহাকে **সরল ব্যারোমিটার** বলা হয়।

(খ) আর-একটি পরীক্ষা।—সরল ব্যারোমিটারের পারদস্তম্ভ বায়ুমণ্ডলের চাপের ক্রিয়ায় দাঁড়াইয়া থাকে। 'প্রকৃতি শূন্যতা সহে না'—অ্যারিস্টট্‌লের এই তত্ত্ব ঠিক নহে। নিম্নে বর্ণিত পরীক্ষাটি হইতে বিষয়টি পরিষ্কার বুঝা যায়। একটি টরিসেলীর টিউব (T) পারার পাত্রসহ একটি পাম্পের প্লেটের (R) উপর বসাও (চিত্র ১০৭)। একটি বড় কাঁচের জার (J) দিয়া ইহাদিগকে ঢাকিয়া দাও। এই ঢাকনিটি বায়ুনিরুদ্ধভাবে প্লেটের উপর বসাইতে হইবে। পাম্প চলিতে থাকিলে জারের বায়ু ধীরে ধীরে নিষ্কাশিত হইবে, ফলে জারের বায়ুর চাপ কমিবে। দেখা যাইবে যে, টরিসেলীর টিউবের পারদ-স্তম্ভের উচ্চতা ধীরে ধীরে কমিয়া যাইতেছে।

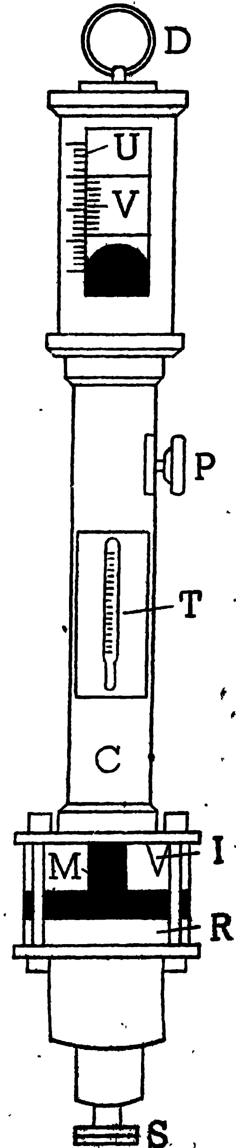


চিত্র ১০৭

সর্বোত্তম শূন্যতা সৃষ্ট হইলে টিউবের পারার উচ্চতা প্রায় পাত্রের পারার উচ্চতার সমান হইবে। পাম্প থামাইয়া আবার ভিতরে বায়ু প্রবেশ করিতে দিলে, টিউবের পারার উচ্চতা বাড়িতে বাড়িতে সরল ব্যারোমিটারের সমান হইবে। তাই বুঝা যায়, পারার টিউবে অধিরোহণ বায়ুর চাপেই সংঘটিত হয়। প্রকৃতি শূন্যতা সহে না বলিয়া S-স্থানের শূন্যতা যদি পারদস্তম্ভকে টানিয়া তুলিত, তাহা হইলে জার হইতে বায়ু বাহির করিয়া দিলে পারদস্তম্ভের উচ্চতা কমিত না।

১৫৯। ব্যারোমিটার (Barometer) :—বায়ুমণ্ডলের চাপ মাপিবার যন্ত্রের নাম ব্যারোমিটার। পারার সাহায্যে দুই রকমের ব্যারোমিটার নির্মিত হয়,

(ক) পারদ-আধার ব্যারোমিটার (Cistern barometer) ও (খ) সাইফন ব্যারোমিটার (Siphon barometer)।



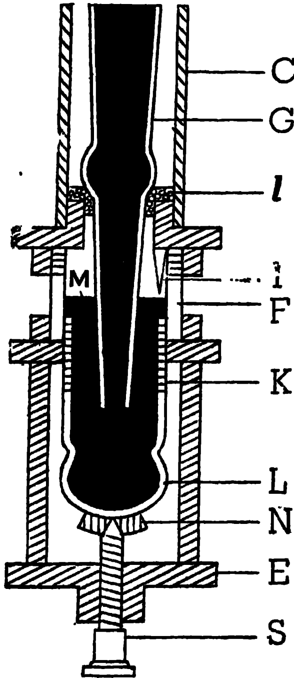
চিত্র ১০৮.

ক) ফর্টিন ব্যারোমিটার (Fortin's Barometer).—ইহা একটি পারদ-আধার ব্যারোমিটার। যে-কোন লেবরেটরির ইহা একটি অপরিহার্য উপকরণ।

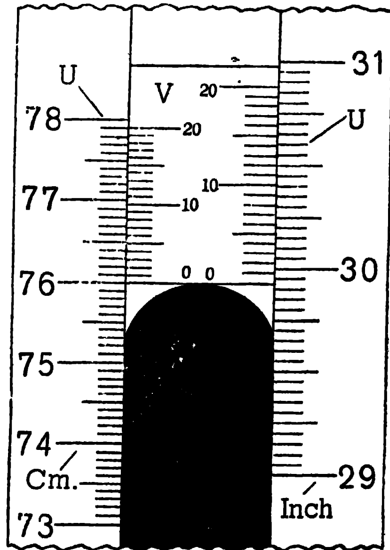
বর্ণনা.—ইহাতে মাঝারি প্রস্থচ্ছেদের প্রায় এক মিটার লম্বা পুরুগাত্রের কাঁচের একটি একমুখী নল লওয়া হয়। বিশুদ্ধ, বায়ুশূন্য পারা দিয়া ভর্তি করিয়া ইহার খোলা মুখ বায়ুনিরুদ্ধভাবে আটকাইয়া ঐ মুখ একটি পারদভর্তি থলির (*R*) পারদের (*M*) মধ্যে ডুবাইয়া দেওয়া হয় (চিত্র ১০৮)। এই থলির তলাটি সাধারণতঃ শ্যাময় চামড়া (Chamois leather) দ্বারা তৈয়ারি হয়। স্ক্রু *S*এর সাহায্যে এই থলির তলা উঠানো-নামান যায়। ইহার সাহায্যে বায়ুমণ্ডলের চাপ নির্ণয় করার সময় থলির মধ্যস্থ পারদপৃষ্ঠকে একটি পিনের (*I*) নিম্ন বিন্দু স্পর্শ-করা অবস্থায় রাখা হয়। এইভাবে তৈয়ারি করার পর ব্যারোমিটারকে একটি পিতলের নির্মিত চোঙাকৃতি বহিরাবরণের মধ্যে বসান হয়। কোন অবলম্বন হইতে ঝুলাইয়া রাখার জন্য ইহার শীর্ষে একটি রিং খাটান (*D*) হয়। বহিরাবরণের উপরিভাগে একটি কাঁচের গবাক্ষ আছে। ইহার ভিতর দিয়া মধ্যস্থ কাঁচের নলের পারদ-স্তম্ভের উচ্চতা কত দেখা যায়। পারদশীর্ষের পিছনে একখানি ছোট আয়না বসান থাকে। পারদস্তম্ভের উচ্চতা মাপার জন্য একটি সরল স্কেল দরকার। কাঁচের গবাক্ষটির ধার ধরিয়া পিতল আধারের উপর এই প্রধান স্কেলের দাগগুলি (*U*) খোদাই করা হয়। এই প্রধান স্কেলটির ধার বরাবর একটি ভার্নিয়ার (*V*) চালনা করা যায়। ভার্নিয়ারটি পিনিয়ন *P*র সহিত যুক্ত। পিনিয়ন *P* একটি র‍্যাকের উপর দিয়া চলে। প্রধান স্কেলের দাগের নম্বর

এমনভাবে দেওয়া হয় যে, উহার 0-দাগ পিনের (I) ডগার সহিত এক হয়। সাধারণতঃ লেবরেটরির তাপমাত্রা দেখার জন্য ব্যারোমিটারের আধারের উপর একটি থার্মোমিটার (T) বসান থাকে।

চিত্র ১০৯-এ পারদ-আধারের ও টিউবের নিম্ন-অংশের খুঁটিনাটি বিষয়গুলি আরও পরিষ্কারভাবে দেখান হইয়াছে। C—পিতলের আধার। G—ব্যারোমিটার টিউব।



চিত্র ১০৯



চিত্র ১১০

ইহা কাঁচের তৈয়ারী। দেখিতেছ, ইহা নীচের দিকে ক্রমে সরু হইয়া গিয়াছে কিন্তু তলার কিছু উপরের খানিকটা অংশ একটু স্ফীত। এই অংশ একটি চামড়ার কুশনের (l) উপর বসান আছে। টিউবটি নীচের দিকে সরু হইয়া যাওয়ায় থলির পারার কোন স্পন্দন পারদস্তম্ভের উপরিভাগে সংক্রমিত হইতে পারে না। টিউবটি কুশনের উপর বসান বলিয়া সামান্য নাড়াচাড়াতে টিউবটির কোন ক্ষতি হয় না; I—হাতীর দাঁতের তৈয়ারি একটি পিন, F—কাঁচের গবাক্ষ; M—পারদ; K—বক্স কাঠের তৈয়ারি পারদথলির দেওয়াল; L—স্থায় চামড়ায় তৈয়ারি পারদথলি; N—চামড়ার থলিতে

লাগানো কাঠের তলা (স্ক্রু S ইহাকে ঠেলিয়া থলিটিকে তুলিয়া ধরিতে পারে) : S—স্ক্রু ; E—পিতলের পাটাতন (ইহার মধ্য দিয়া প্যাঁচ কাটা আছে। ইহা একটি দৃঢ় খাটের কাজ করে। এই প্যাঁচ ধরিয়াই স্ক্রু S ওঠে নামে)।

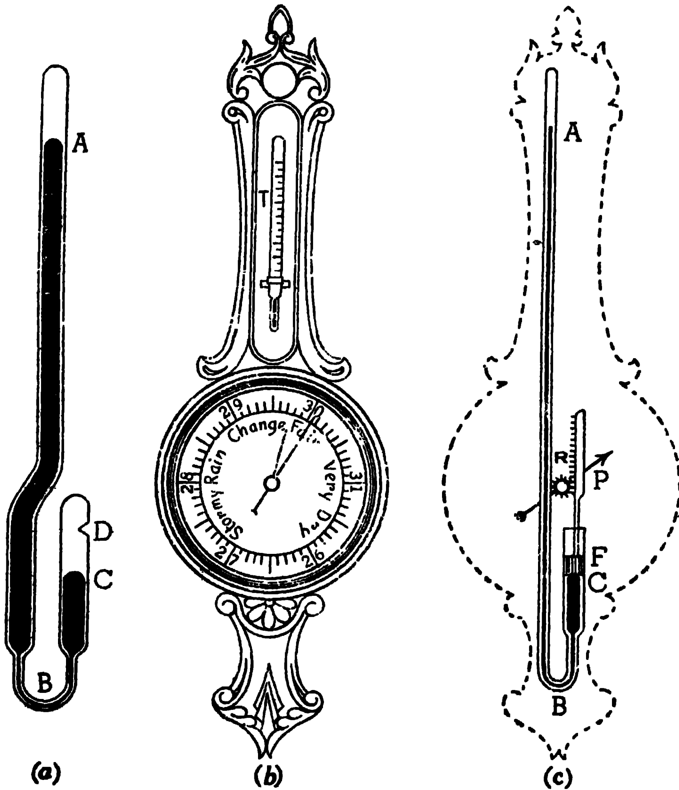
ফার্টিন ব্যারোমিটারের পাঠ লওয়ার পদ্ধতি।—সর্বপ্রথম স্ক্রু S যথাযথভাবে ঘুরাইয়া পারদথলির পারদপৃষ্ঠ দ্বারা পিন Iর ডগা ঠিক ঠিক স্পর্শ করাও। ইহাকে শূন্য-ঠিক-করা (zero-adjustment) বলে। পারদে পিনটির উল্টানো প্রতিচ্ছায়া ফুটিয়া ওঠে। পিন-প্রতিবিম্বের ডগা পিনের ডগার সহিত ঠিক ঠিক মিলিলে পিনের ডগা পারদপৃষ্ঠ স্পর্শ করিয়াছে বুঝিতে হয়।

এরপর টিউবের পারদস্তম্ভের (meniscus) উপরের কাঁচের গবাক্ষের মধ্য দিয়া লক্ষ্য কর (চিত্র ১১০)। ভার্নিয়ার Vকে উঠাইয়া বা নামাইয়া ইহার O-দাগ পারদস্তম্ভের উত্তল পৃষ্ঠের সঙ্গে স্পর্শকভাবে মিলাইয়া ধর (চিত্রে যেরূপ দেখান আছে)। ব্যারোমিটার টিউবের সঙ্গে দৃষ্টি-রেখা উল্লম্বভাবে রাখিয়া প্রধান স্কেল ও ভার্নিয়ার স্কেলের এখন পাঠ লও। এই দুই পাঠের যোগফলের দৈর্ঘ্য দ্বারাই বায়ুমণ্ডলের চাপের মান সূচিত করা হয়।

(খ) **সাইফন ব্যারোমিটার** (Siphon Barometer).—ইহা সহজে এক স্থান হইতে অন্য স্থানে লইয়া যাওয়া যায়। ইহার মধ্যে কোন স্বতন্ত্র পারদ-আধার নাই। যন্ত্রটি একটি U-আকারের কাঁচের নলের মত করিয়া গড়া হয় [চিত্র ১২৪ (a)]। Uর এক দিকের বাহু (C) ছোট, অন্য দিকের বাহু (A) অনেক উঁচু। Aর উপরের মুখ বন্ধ। Cর উপরের মুখও বন্ধ কিন্তু পার্শ্বে একটি ছোট খোলা মুখ (D) আছে। A ও C একটি বেঁকানো সরু নল (B) দ্বারা যুক্ত। C-বাহুই পারদথলির কাজ করে। Cর উপরের মুখ বন্ধ। তাই পারদপৃষ্ঠ সোজাসুজি উন্মুক্ত বায়ুতে পড়িয়া থাকে না। যোগাযোগকারী নল B সরু হওয়ায় যন্ত্রটি হেলিয়া গেলেও C হইতে বায়ু A-বাহুর মধ্যে প্রবেশ করিতে পারে না। সমগ্র যন্ত্রটি একটি কাঠে বোর্ডের উপর বসাইয়া খাড়াভাবে দেওয়ালে ঝুলাইয়া রাখা হয়। দুই বাহুর পাশেই একটি করিয়া খাড়া স্কেল লাগান থাকে। ইহাদের সাহায্যে দুই বাহুর পারদের উচ্চতা জানা যায়। এই দুই উচ্চতার পার্থক্যই হইল বায়ুমণ্ডলের চাপের পরিমাপক পারদ-দৈর্ঘ্য।

(গ) **আবহাওয়া-নির্দেশক যন্ত্র বা ওয়েদার-গ্লাস** (Weather Glass).—ইহা একটি সাইফনজাতীয় ব্যারোমিটার [চিত্র ১১১ (b)]। এইরূপ যন্ত্র বাড়ীতে

রাখা হইলে ইহার সাহায্যে আবহাওয়া সম্বন্ধে সর্বদা একটা মোটামুটি ধারণা পাওয়া যায়। এই যন্ত্রে ছোট বাহুর পারদের উপর একটি ভেলা (F) ভাসন্ত আছে [চিত্র ১১১, (c)]। বায়ুমণ্ডলের চাপ বাড়িলে এই ভেলা (F) নীচে নামে, চাপ কমিলে ইহা উপরে ওঠে। ভেলাটির সহিত একটি খাড়া র‍্যাক্ (R) আছে। র‍্যাক্ R-এর সহিত



চিত্র ১১১

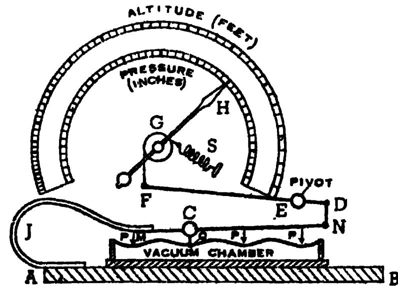
যুক্ত আছে একটি পিনিয়ন (pinion)। এই পিনিয়ন-চক্র একটি সূচক কাঁটা (P) বহন করে। সূচকটি একটি ডায়ালের [চিত্রে ১১১, (b)] উপর ঘোরে। এই ডায়াল ইঞ্চি ও ইঞ্চির ভগ্নাংশে বিভক্ত করা থাকে। ইহার উপর বিভিন্ন স্থানে, 'খুব শুষ্ক' (very dry), 'ভাল' (fair), 'পরিবর্তন আসন্ন' (change), 'বৃষ্টি' (rain), 'ঝড়' (storm), ইত্যাদি লেখা থাকে। যন্ত্রটি উহার ফ্রেমে বসাইয়া একটি আংটার সাহায্যে

খাড়াভাবে দেওয়ালে ঝুলাইয়া রাখা হয়। সাধারণতঃ ফ্রেমটির উপর একটি থার্মোমিটারও লাগান থাকে। ইহার সাহায্যে ঘরের উষ্ণতা জানা যায়।

(ঘ) অ্যানিরয়েড (বা তরলবিহীন) ব্যারোমিটার (Aneroid Barometer).—এই চাপমান যন্ত্রে কোন তরল পদার্থ ব্যবহার করা হয় না। যন্ত্রটি খুবই স্পর্শকাতর (sensitive), বায়ুমণ্ডলের চাপের সামান্য তারতম্যও ইহাতে ধরা পড়ে। যন্ত্রটি হাল্‌কা, ইহাকে সহজেই একস্থান হইতে অন্যস্থানে লইয়া যাওয়া চলে। পারদ-ব্যারোমিটারের মত অত সহজে এই যন্ত্র ক্ষতিগ্রস্ত হয় না।

কোন স্থানের উন্নতি (altitude) সেই স্থানের বায়ুমণ্ডলের চাপ হইতে নির্ণয় করা যায়। এইজন্য কখনও কখনও অ্যানিরয়েড ব্যারোমিটারের স্কেলের পাশে উন্নতি (altitude)) (সমুদ্রপৃষ্ঠ হইতে) নির্দেশক আর-একটি স্কেলও থাকে। সেক্ষেত্রে যন্ত্রটিকে উন্নতি-নির্দেশক যন্ত্র বা অল্টিমিটার (altimeter) বলা হয়। পর্বত-আরোহী ও বিমান-চালকেরা উন্নতি নির্ণয়ের জন্য এই যন্ত্র সর্বদাই ব্যবহার করিয়া থাকেন। দেখিতে এইরূপ যন্ত্র অনেকটা একটি পকেট ঘড়ির মত।

চিত্র ১১২-তে অ্যানিরয়েড-ব্যারোমিটার-অল্টিমিটারের একটি সম্মিলিত যন্ত্র দেখান হইয়াছে। ইহা একটি ধাতুনির্মিত পাত্‌লা ঢাকনিযুক্ত বায়ুশূন্য বায়ুনিরুদ্ধভাবে বন্ধ-করা বাক্সবিশেষ। ঢাকনিটি একখানি নমনীয় করোগেট-করা ধাতুপাতে তৈয়ারি। পাতখানি বায়ুমণ্ডলের চাপের সামান্য পরিবর্তনেও চঞ্চল হইয়া উঠে। J একটি শক্ত ইস্পাতের স্প্রিং। ইহার একপ্রান্ত একটি দৃঢ় অবলম্বন ABতে লাগান আছে। আর অন্যদিক একটি লিভার MNএর M প্রান্তে যুক্ত। স্প্রিংটি করোগেট-করা পাতটিকে ঝাকুনি-জনিত সকল প্রকার ক্ষতির হাত হইতে রক্ষা করে। MNএর C বিন্দু করোগেট-করা পাতের কেন্দ্রে দৃঢ়ভাবে যুক্ত আছে। MN হইতেছে একটি সূক্ষ্ম লিভার সমবায়ের অঙ্গীয় একটি লিভার বিশেষ। বায়ুমণ্ডলের চাপ বাড়িলে করোগেট-করা পাতের ঢাকনির উপর নীচের দিকে চাপ পড়ে। ফলে লিভার DFএর (আলম্ব E) D প্রান্ত নীচে নামিয়া আসে এবং F প্রান্ত উপরে উঠিয়া যায়। বায়ুমণ্ডলের চাপ কমিলে



চিত্র ১১২

ইহার ঠিক বিপরীত ঘটনা ঘটে। F প্রান্তে একটি রজ্জু লাগান আছে। রজ্জুটি একটি ছোট চাকা Gকে বেষ্টন করিয়া S স্প্রিংয়ের দ্বারা টান করিয়া ধরা থাকে। G চাকার অক্ষের সহিত একটি লম্বা সূচক কাঁটা (H) লাগান আছে। এই ব্যবস্থার ফলে ঢাকনির পাতের সামান্য নড়নেও (movement) কাঁটা H বেশ কয়েক ডিগ্রী ঘূর্ণিত হয়। Hএর বহিঃপ্রান্ত একটি বৃত্তস্কেলের উপর ঘোরে। এই স্কেলটি ইঞ্চি এবং উহার ভগ্নাংশে বিভক্ত। ইহা দ্বারাই বায়ুমণ্ডলের চাপ সূচিত করা হয়। এই স্কেলের বহির্ভাগে উন্নতি-নির্দেশক আর-একটি স্কেল থাকে। এই উন্নতি-নির্দেশক স্কেলের (altitude scale) 0-দাগ সমুদ্রপৃষ্ঠের চাপের সমান চাপের সহিত এক রাখা হয়। আবহাওয়া অফিস হইতে উচ্চতার সহিত চাপের তারতম্য দেখাইয়া যে তালিকা প্রস্তুত করা হয় (উপরে বেলুন উড়াইয়া ইহা করা হয়) তাহার সাহায্যে চাপের স্কেল দেখিয়া উন্নতিস্কেলের দাগ চিহ্নগুলি দেওয়া হয়। উন্নতি স্কেল ফুট ও উহার ভগ্নাংশে বিভক্ত থাকে।

ব্যারোগ্রাফ (Barograph).—ব্যারোগ্রাফ বলিতে আমরা একখানি বিশেষ বর্গরেখচিত্র বুঝিয়া থাকি। ইহাতে সময়ের সহিত বায়ুমণ্ডলের চাপের পরিবর্তন একটি লেখ-র (graph) সাহায্যে সূচিত করা হয়। লেখটি একটি অ্যানিরয়েড জাতীয় স্বয়ংক্রিয় ব্যারোমিটার দ্বারা অংকিত হয়।

১৬০গ বায়ুমণ্ডলের চাপের মান :—মনে কর, H= কোন স্থানে বায়ুমণ্ডলের শীর্ষের উচ্চতা, σ= বায়ুর গড় ঘনত্ব, g= স্থানীয় অভিকর্ষজাত ত্বরণ। বায়ুমণ্ডলের চাপ $(P)=H$ উচ্চতাবিশিষ্ট 1 একক ক্ষেত্রফলের উপর দণ্ডায়মান এক বায়ুস্তম্ভের ভার $=(1\times H)\times\sigma\times g$। যদি এই চাপ h উচ্চতাবিশিষ্ট ρ ঘনত্বের এক পারদস্তম্ভকে খাড়াভাবে সাম্যাবস্থায় ধরিয়া রাখে, তাহা হইলে, বায়ুমণ্ডলের চাপ $(P)=H\sigma g=h\rho g$ হইবে।

সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে বায়ুমণ্ডলের চাপের মান.—

মনে কর, কোন স্থানে ব্যারোমিটার-পারদস্তম্ভের উচ্চতা, $h=76$ সেণ্টিমিটার, $\rho=13{\cdot}6$ গ্রাম, প্রতি ঘন সেণ্টিমিটারে এবং স্থানীয় অভিকর্ষজাত ত্বরণ, $g=981$ সেণ্টিমিটার, প্রতি বর্গ সেকেণ্ডে। তাহা হইলে বায়ুমণ্ডলের চাপ,

$P=h\rho g=76\times13{\cdot}6\times981$ ডাইন, প্রতি বর্গ সেণ্টিমিটারে,

$=1{\cdot}01396\times10^6$ ডাইন, প্রতি বর্গ সেণ্টিমিটারে।

সমুদ্রপৃষ্ঠে ব্যারোমিটার-পারদস্তম্ভের উচ্চতা প্রায় 76 সেন্টিমিটার হয় বলিয়া, বায়ুমণ্ডলের চাপ প্রায় 10^6 ডাইন, প্রতি বর্গ সেন্টিমিটারে ধরা হয়।

আবহাওয়া বিজ্ঞানে 10^6 ডাইন, প্রতি বর্গ সেন্টিমিটারে, চাপকে 1 বার (bar) চাপ বলা হয়। এক বারের এক হাজার ভাগের এক ভাগকে 1 মিলিবার (millibar) বলা হয়। অতএব উপরোক্ত হিসাবে বায়ুমণ্ডলের চাপ = 1·01396 বার = 1013·96 মিলিবার (mb.)।

এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে বায়ুমণ্ডলের চাপের মান.—

ব্যারোমিটার-পারদস্তম্ভের উচ্চতা = 76 সেন্টিমিটার = 30 ইঞ্চি, (প্রায়)।

পারদের ঘনত্ব = 13·6 গ্রাম, প্রতি ঘন সে.মি.-এ = $13 \cdot 6 \times (2 \cdot 54)^3$ গ্রাম,

প্রতি ঘন ইঞ্চিতে $= \dfrac{13 \cdot 6 \times (2 \cdot 54)^3}{453 \cdot 6}$ পাউণ্ড, প্রতি ঘন ইঞ্চিতে।

বায়ুমণ্ডলের চাপ, $P = h\rho = \dfrac{30 \times 13 \cdot 6 \times (2 \cdot 54)^3}{453 \cdot 6}$ পাউণ্ড ভার, প্রতি বর্গ সে.মি.-তে।

= 14·7 পাউণ্ড-ভার, প্রতি বর্গ ইঞ্চিতে, (প্রায়)।

মন্তব্য : (১) স্পষ্টতঃই বায়ুমণ্ডলের চাপ, P, ব্যারোমিটার-পারদস্তম্ভের উচ্চতা h-এর সহিত সমানুপাতিক। চাপ হইতেছে প্রতি বর্গএকক ভূমির উপর একটি বল বিশেষ। তবু ইহাকে প্রথমোক্ত কারণেই পারদস্তম্ভের উচ্চতার (h) সাহায্যে প্রকাশ করা হইয়া থাকে। এই অর্থেই বায়ুমণ্ডলের চাপকে পারদের 76 সেন্টিমিটার বা পারদের 30 ইঞ্চি চাপ বলা হয়। তাই, কোন স্থানে বায়ুমণ্ডলের চাপ পারদের 76 সেন্টিমিটার বলার অর্থ এই যে, সেখানকার বায়ুমণ্ডলের চাপ, 76 সেন্টিমিটার উচ্চতাবিশিষ্ট এক পারদস্তম্ভ উহার ভূমির উপর যে চাপ দেয় তাহার সমান। চাপের প্রকৃত মান বাহির করিতে হইলে 76 সেন্টিমিটারকে, স্থানীয় তৎকালীন উষ্ণতায় পারদের ঘনত্ব ρ এবং স্থানীয় অভিকর্ষীয় ত্বরণ g দ্বারা গুণ করিতে হইবে।

তুলনামূলক বিচারের জন্য, যে উষ্ণতায় ব্যারোমিটারের পারদস্তম্ভের উচ্চতা মাপা হয় ঐ উচ্চতাকে 0° সেন্টিগ্রেডের উষ্ণতায় পরিণত করিতে হয়।

(২) বেশি মানের চাপ পরিমাপে চাপকে সাধারণতঃ 'বায়ুমণ্ডল' (atmospheres) এককে প্রকাশ করা হয়। কোন গ্যাসীয় পদার্থ বা তরল পদার্থের চাপ 1013961 ডাইন, প্রতি বর্গ সেন্টিমিটারে, বা 14·7 পাউণ্ড-ভার, প্রতি বর্গ ইঞ্চিতে, হইলে ইহাকে **'এক বায়ুমণ্ডল'** (one atmosphere) চাপ বলা হয়।

১৬১। চাপের প্রামাণ্য মান (Standard Pressure) :—বায়ুমণ্ডলের চাপ বাড়া-কমা তুলনামূলকভাবে বুঝিবার জন্য কোন একটি চাপকে প্রামাণ্য মান (standard) হিসাবে ধরা হয়। এই প্রামাণ্য চাপকে কখনও কখনও স্বাভাবিক চাপও (normal pressure) বলা হয়। এই চাপকে সমুদ্রপৃষ্ঠে 45° অক্ষাংশে 76 সেন্টিমিটার উচ্চ 0° সে. তাপমাত্রাবিশিষ্ট বিশুদ্ধ পারদের এক স্তম্ভ উহার ভূমির উপর যে চাপ প্রয়োগ করে তাহার সমান ধরা হয়। সমুদ্রপৃষ্ঠে 45° অক্ষাংশে অভিকর্ষজাত ত্বরণ, $g=980{\cdot}6$ সেন্টিমিটার, প্রতি বর্গসেকেণ্ডে। 0° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায় পারদের ঘনত্ব, $\rho=13{\cdot}596$ গ্রাম, প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে। সুতরাং, বায়ুমণ্ডলের স্বাভাবিক চাপ বা প্রামাণ্য চাপ

$=h\rho g=76\times13{\cdot}596\times980{\cdot}6=1{\cdot}013\times10^6$ ডাইন, প্রতি বর্গ সে.মি.-তে।

১৬২। ব্যারোমিটারের তরল পদার্থের উচ্চতার উপর টিউবের প্রস্থের প্রভাব :—ব্যারোমিটারে তরলস্তম্ভের উচ্চতা টিউবের প্রস্থের (বা প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফলের) উপর নির্ভর করে না। মনে কর, $h=$ব্যারোমিটারের তরলস্তম্ভের উচ্চতা, $a=$টিউবের প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল (টিউবের তরলের স্বাধীন পৃষ্ঠ বরাবর), $\rho=$তরলের ঘনত্ব, $g=$স্থানীয় অভিকর্ষজাত ত্বরণ। তাহা হইলে, তরলস্তম্ভ উহার ভূমির উপর যে বল প্রয়োগ করিবে তাহার মান$=ah\rho g$।

বায়ুমণ্ডলের চাপ তরল আধারের তরল পৃষ্ঠের উপর খাড়া নীচের দিকে কাজ করে। এই চাপ তরল পদার্থের মধ্য দিয়া, মানে অপরিবর্তিত থাকিয়া, সর্বদিকে সঞ্চালিত হয়। টিউবের তরলস্তম্ভের উপর ঊর্ধ্ব দিকেও তাহা হইলে বায়ুমণ্ডলের চাপ একই হইবে। উহা P হইলে, এই ঊর্ধ্ব চাপের জন্য প্রযুক্ত মোট বল$=P\times a$ হইবে। তরলস্তম্ভ স্থির সাম্যে আছে বলিয়া, ঊর্ধ্ব বল ও নিম্নবল পরস্পরের সমান হইবে অর্থাৎ, $Pa=ah\rho g$ হইবে ; বা, $P=h\rho g$; অর্থাৎ, বায়ুমণ্ডলের চাপ (P) টিউবের প্রস্থচ্ছেদ aর উপর নির্ভর করে না।

মন্তব্য : টিউবটি খুব সরু হইলে সারফেস্ টেন্‌সন্ বা পৃষ্ঠটান (surface tension)এর জন্য ব্যারোমিটারের তরলস্তম্ভের উচ্চতা প্রভাবান্বিত হয়। পারদের ক্ষেত্রে সারফেস্ টেন্‌সনের ফলে ব্যারোমিটারের উচ্চতা কিছু কমিয়া যায়। টিউবটি একটু

মোটা ;হইলে সারফেস্ টেন্সনের জন্য পারদস্তম্ভের উচ্চতা হ্রাসের বিষয় বিবেচনা না করিলেও চলে।

১৬৩। ফর্টিন ব্যারোমিটারের পাঠের সংশোধন (Correction) :— ব্যারোমিটারের স্কেল 0° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায় ক্যালিব্রেট্ করা থাকে। লেবরেটরির উষ্ণতা 0° সে. উষ্ণতা হইতে ভিন্ন হইলে স্কেলের দৈর্ঘ্য বদলাইয়া যাইবে ; ফলে পারদস্তম্ভের উচ্চতার পাঠকে স্কেলের উষ্ণতা পরিবর্তনের জন্য সংশোধন করিতে হয়। অধিকন্তু পারদের ঘনত্ব বিভিন্ন উষ্ণতায় বিভিন্ন বলিয়া পর্যবেক্ষিত উচ্চতাকে পারদের ঘনত্বের জন্য সংশোধন করিয়া 0° সে. উষ্ণতার ঘনত্বের জন্য প্রকাশ করিতে হয়। স্বাভাবিক চাপের সহিত তুলনাযোগ্যভাবে প্রকাশ করিতে হইলে ব্যারোমিটারের উপরোক্ত উষ্ণতা-সংশোধিত উচ্চতাকে পর্যবেক্ষণ-স্থলের উন্নতির (altitude) জন্য এবং উহার অক্ষাংশের (latitude) জন্যও পরিবর্তিত করা দরকার।

১৬৪। ব্যারোমিটারে পারদ ব্যবহারের সুবিধা ও অসুবিধা :— পারদ রৌপ্যের মত উজ্জ্বল খুব ভারী এক প্রকারের তরল পদার্থ। ইহা কাঁচের টিউবের মধ্যে সুস্পষ্টভাবে দেখা যায়। লেবরেটরির সাধারণ তাপমাত্রায় ইহার বাষ্পের চাপ খুব কম। ব্যারোমিটারের পারদের উচ্চতা এই চাপের জন্য যেটুকু কমে তাহা ধর্তব্য নয়। পারদ কাঁচকে সিক্ত করে না ও কাঁচের গাত্রে লাগিয়া থাকে না। অন্য সব তরল পদার্থ অপেক্ষা পারদের ঘনত্ব বেশি বলিয়া ব্যারোমিটারে ইহার উচ্চতা অন্য সব তরল পদার্থ অপেক্ষা কম হয়। পারদস্তম্ভ বিশেষ উঁচু হয় না বলিয়া পারদ-ব্যারোমিটার লেবরেটরিতে রাখা সম্ভব হয়। পারদ-ব্যারোমিটারে পারদস্তম্ভের উচ্চতা বায়ুমণ্ডলের স্বাভাবিক চাপে 76 সেন্টিমিটার বা 30 ইঞ্চির মত হয়। ব্যারোমিটারে জল ব্যবহার করা হইলে জলস্তম্ভের উচ্চতা হইবে $(30\times 13{\cdot}6)/12=34$ ফুট। গ্লিসারিণ-ব্যারোমিটারে গ্লিসারিণ-স্তম্ভের উচ্চতা হইবে $34/1{\cdot}2=27$ ফুট, [গ্লিসারিণের আপেক্ষিক গুরুত্ব $=1{\cdot}2$ বলিয়া]।

বায়ুমণ্ডলের চাপে অল্প তারতম্য ঘটিলে পারদস্তম্ভের উচ্চতার বেশি পরিবর্তন হয় না [পারদের ঘনত্ব খুব বেশি বলিয়া]। ইহা পারদ ব্যারোমিটারের একটি গলদ। এই দিক্ দিয়া বিবেচনা করিলে জল বা গ্লিসারিণের মত হাল্কা তরল পদার্থের ব্যারোমিটার বেশি সূক্ষ্ম হওয়ার কথা। কিন্তু মুস্কিল এই যে, ইহাদের ক্ষেত্রে তরলের বাষ্পের চাপ বেশি

হয় এবং ইহাদের উচ্চতাও লেবরেটরিতে সামলানো সম্ভব নয়। তাই ইহাদিগকে ব্যবহার করা চলে না।

১৬৫। আবহাওয়ার পূর্বাভাসঃ—পৃথিবীর এক এক স্থানে এক এক সময় এক এক রূপ আবহাওয়া থাকে। প্রাকৃতিক নানা কারণের উপর আবহাওয়ার প্রকৃতি নির্ভর করে। এই কারণগুলি বেশ জটিল। তাই আবহাওয়ার সঠিক পূর্বাভাস দেওয়া খুব সহজ নয়। আবহাওয়া কেমন হইবে ব্যারোমিটারের সাহায্যে তাহা মোটামুটিভাবে বলা যায়। বায়ুমণ্ডলের চাপ = বায়ুমণ্ডলের উচ্চতা × গড় ঘনত্ব × অভিকর্ষজাত ত্বরণ। উচ্চতা এবং ত্বরণ দিনে দিনে বা প্রতি ঋতুতে বদলায় না। কিন্তু বায়ু ঘনত্ব পরিবর্তিত হইতে পারে। এইজন্য চাপ বদলাইতে পারে। ঘনত্ব বাড়িলে চাপ বাড়ে, ঘনত্ব কমিলে চাপ কমে।

বায়ুমণ্ডলের ঘনত্ব দুইটি কারণে বদলাইতে পারে—(১) উষ্ণতার পরিবর্তন, (২) বায়ুমণ্ডলে জলীয় বাষ্পের পরিমাণের পরিবর্তন। সকল স্থানেই থার্মোমিটার ও ব্যারোমিটারের পাঠের পরিবর্তন পরস্পরের বিপরীত ভাবে ঘটে। অর্থাৎ উষ্ণতা যখন বাড়িতে থাকে, বায়ুমণ্ডলের চাপ তখন কমে; আবার, উষ্ণতা যখন কমিতে থাকে, বায়ুমণ্ডলের চাপ তখন বাড়ে। ইহার কারণ এই যে, উষ্ণতা বাড়িলে বায়ু হাল্‌কা হইতে থাকে ও উহার ঘনত্ব কমে। আবার উষ্ণতা বাড়িলে পৃথিবীপৃষ্ঠের জল আরও বেশী বাষ্পীভূত হয় বলিয়া বায়ুতে জলীয় বাষ্পের পরিমাণও বৃদ্ধি পায়। জলীয় বাষ্পের ঘনত্ব শুষ্ক বায়ুর ঘনত্বের আট ভাগের পাঁচ ভাগ। এইজন্য বায়ুতে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ বাড়িলে, বায়ুর ঘনত্ব কমিয়া যায় এবং ব্যারোমিটারে বায়ুমণ্ডলের চাপ কমিয়া গিয়াছে সূচিত হয়।

ব্যারোমিটারের যদি চাপের বহুল হ্রাস (দুই সেন্টিমিটারের মত) হইয়াছে দেখা যায়, তাহা হইলে বুঝিতে হইবে যে বৃষ্টি আসন্ন। আর যদি দেখা যায় যে, বায়ুর চাপ অকস্মাৎ তিন সেন্টিমিটারের মত কমিয়া গিয়াছে, তাহা হইলে বুঝিতে হইবে যে, পার্শ্ববর্তী উচ্চ চাপের অঞ্চল হইতে প্রবলবেগে বাতাস বহিয়া আসিয়া ঝড়ের সৃষ্টি করিবে। ব্যারোমিটারের চাপ অনেক দিন ধরিয়া ধীরে ধীরে কমিলে বুঝিতে হইবে যে, বেশ কিছুদিন খারাপ আবহাওয়া চলিতে থাকিবে। হঠাৎ চাপ বাড়িতে থাকিলে বুঝিতে হইবে যে, ভাল আবহাওয়া আসিতেছে, কিন্তু ইহা দীর্ঘস্থায়ী হইবে না। কয়েক দিন ধরিয়া চাপ ধীরে ধীরে বাড়িলে বুঝা যাইবে যে, বেশ কিছুদিন ভাল আবহাওয়া থাকিবে।

আবহাওয়া চার্ট (Weather Chart)—প্রতিদিন আবহাওয়া অফিস হইতে চাপ, উষ্ণতা, বায়ুমণ্ডলের আর্দ্রতা, বাতাসের গতি ও উহার দিক্‌, আকাশের অবস্থা, ইত্যাদির একটি বিজ্ঞপ্তি প্রকাশ করা হয়। লেখ আকারেও ইহাদের প্রকাশ করা হয়। ইহাদের নাম আবহাওয়া চার্ট। বায়ুর চাপ মিলিবার (millibar)এ প্রকাশ করা হয়। স্থানীয় মানচিত্রের উপর কোন এক সময়ের একই বায়ুচাপ-বিশিষ্ট স্থানগুলিকে এক অখণ্ড সমচাপরেখা (isobar) দ্বারা সংযুক্ত করা হয়। আবহাওয়ার মানচিত্রে বিভিন্ন চাপের এইরূপ অনেকগুলি সমচাপরেখা অঙ্কিত থাকে। সমচাপরেখাগুলি ঘন সন্নিবদ্ধ হইলে বায়ুচাপে দ্রুত পরিবর্তন আসিবে বুঝা যায়। অল্প চাপের অঞ্চলগুলিকে সাইক্লোনস্‌ (cyclones) ও উচ্চচাপের অঞ্চলগুলিকে অ্যান্টিসাইক্লোনস্‌ (anticyclones) বলা হয়।

Exercises

1. Describe an experiment to show that air exerts pressure. The atmosphere exerts a pressure of 15 lbs.-wt./in.^{2} nearly. Prove.

2. Describe Torricelli's experiment. What does it seek to prove ?

3. What is Torricelli's vacuum ? Is it really a vacuum ? In performing a Torricelli's experiment it is suspected that some air has entered into the tube. How do you test it ?

4. Draw the diagram of a Fortin's barometer. Can the tube be of any diameter ?

5. Describe a Fortin's barometer with an index of its parts. Explain the function of each part.

6. Express the magnitude of the atmospheric pressure in c.g.s. and f.p.s. units. What do you mean by normal pressure ?

7. The thrust exerted by the atmosphere on a circular plate of diameter 4·5 ft. is 33,800 lbs.-wt. Calculate the height of the mercury barometer, if the specific gravity of mercury is 13·6 and the mass of 1 cu. ft. of water is 62·5 lbs ?
উত্তর : 2·50 ফুট।

8. What is an aneroid barometer ? Can it be also used for the measurement of altitude ?

: is a barograph ? Write a short note on 'weather charts'.

10. Write a note on the forecasting of weather.

১৫৬। গ্যাসের চাপ ও বয়েলের সূত্র (Gas Pressure and Boyle's Law) :—প্রত্যেক গ্যাসই উহার পাত্রের গাত্রের উপর চাপ দেয়। গ্যাসের অভ্যন্তরে যে-কোন বিন্দুতে ঐ চাপ সমান। এই চাপ সর্বদিকে সমভাবে কাজ করে। উষ্ণতা বাড়িলে গ্যাসের চাপ বাড়ে, উষ্ণতা কমিলে চাপ কমে। একই উষ্ণতায় কোন গ্যাসকে বিভিন্ন চাপে ও তদনুযায়ী বিভিন্ন আয়তনে রাখা যাইতে পারে। উষ্ণতা এক থাকিলে গ্যাসের চাপ ও আয়তনের মধ্যে একটি নির্দিষ্ট সম্পর্ক থাকে। এই সম্পর্ক-নির্দেশক সূত্রেরই নাম বয়েলের সূত্র (Boyle's Law)। বয়েল নামক এক আইরিশ

বিজ্ঞানী ১৬৬২ খৃষ্টাব্দে এই সূত্র আবিষ্কার করেন। তাঁহারই সম্মানার্থে সূত্রটিকে 'বয়েলের সূত্র' বলা হয়। ফরাসীবিজ্ঞানী ম্যারিয়ত্ (Mariotte) একই সময়ে স্বতন্ত্রভাবে সূত্রটি আবিষ্কার করিয়াছিলেন। এইজন্য য়ুরোপের বহু দেশে এই সূত্রকে ম্যারিয়তের সূত্র (Mariotte's Law) বলা হইয়া থাকে।

(১) **বয়েলের সূত্র** (Boyle's Law).—সূত্রটি হইল এই যে, উষ্ণতা অপরিবর্তিত থাকিলে, গ্যাসের আয়তন উহার চাপের সহিত ব্যস্তানুপাতিক (inversely proportional) ভাবে পরিবর্তিত হয়। গ্যাসের চাপকে p এবং আয়তনকে v বলা হইলে এবং উষ্ণতা যদি t হয় তাহা হইলে, বয়েলের সূত্রানুযায়ী,

$$p \propto \frac{1}{v}, \text{ যদি } t \text{ স্থির থাকে ; } pv = k \text{ (উষ্ণতা } t \text{ স্থির থাকিলে) ।}$$

এখানে k ধ্রুব সংখ্যাটির মান উষ্ণতা t এবং গ্যাসের ভরের উপর নির্ভর করিবে। সাধারণ উষ্ণতা ও সাধারণ চাপের ক্ষেত্রে বয়েলের সূত্রটি মোটামুটিভাবে ঠিক বলা যায়।

[(ক) মনে কর যে, উষ্ণতা স্থির রাখিয়া কোন নির্দিষ্ট ভরের কোন গ্যাসকে চাপ p_1, ও আয়তন v_1এর অবস্থা হইতে চাপ p_2 ও আয়তন v_2র অবস্থায় লইয়া যাওয়া হইল। তাহা হইলে, বয়েলের সূত্রানুযায়ী, $p_1v_1 = p_2v_2$ ।

(খ) মনে কর, নির্দিষ্ট উষ্ণতায় কোন নির্দিষ্ট ভরের কোন গ্যাসের চাপ ক্রমান্বয়ে $p_1, p_2, p_3, \ldots$ ইত্যাদি এবং আয়তন $v_1, v_2, v_3 \ldots$ইত্যাদি হইল। তাহা হইলে বয়েলের সূত্রানুযায়ী, $p_1v_1 = p_2v_2 = p_3v_3 = \ldots =$ ধ্রুব রাশি।]

(২) **বয়েলের সূত্রানুযায়ী গ্যাসের ঘনত্ব-পরিবর্তনের সূত্র।**—মনে কর, m ভরবিশিষ্ট একটি গ্যাসকে নির্দিষ্ট উষ্ণতায় রাখা হইয়াছে এবং ইহার আয়তন v_1, চাপ p_1 ও ঘনত্ব d_1। তারপর উষ্ণতা ও ভর অপরিবর্তিত রাখিয়া ইহার চাপ p_2 করা হইল। ইহাতে, মনে কর, ইহার আয়তন v_2 এবং ঘনত্ব d_2 হইল। তাহা হইলে, ভর, $m = v_1d_1 = v_2d_2$ (ভর অপরিবর্তিত থাকিবে বলিয়া)।

$$\therefore \frac{d_1}{d_2} = \frac{v_2}{v_1} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (১)$$

অর্থাৎ, ভর ও উষ্ণতা অপরিবর্তিত থাকিলে, ঘনত্ব আয়তনের সহিত ব্যাস্তানুপাতিক (inversely proportional) হইবে। আবার, বয়েলের সূত্রানুযায়ী,

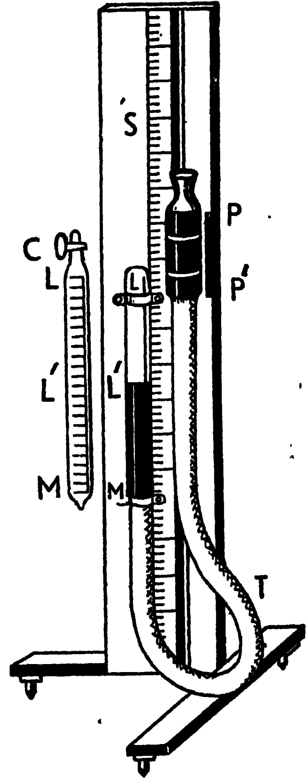
$$p_1v_1 = p_2v_2. \quad \therefore \quad \frac{v_2}{v_1} = \frac{p_1}{p_2}, \therefore \frac{d_1}{d_2} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{p_1}{p_2} \quad \ldots \quad \ldots \quad (২)$$

অর্থাৎ, ভর ও উষ্ণতা অপরিবর্তিত থাকিলে ঘনত্ব চাপের সহিত সমানুপাতিক হইবে। অথবা, ইহা বলা চলে যে, কোন নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসকে নির্দিষ্ট উষ্ণতায় রাখিলে ইহার চাপ ও ঘনত্বের অনুপাত, p/d, ধ্রুব হইবে।

১৬৭। বয়েল সূত্রের পরীক্ষা ঃ—

এই পরীক্ষার জন্য লেবরেটরিতে 'বয়েলের টিউব' নামে একটি যন্ত্র ব্যবহার করা হয়। ইহাতে পরীক্ষাধীন গ্যাস হিসাবে বায়ু নেওয়া হয়।

চিত্র ১১৩-তে যন্ত্রটির একটি নমুনা দেখান হইয়াছে। তিনটি ভূমি স্ক্রুর উপর দাঁড়ানো কাঠের একটি খাড়া স্ট্যাণ্ডের পিঠে যন্ত্রটি ধরা আছে। LM একটি সমপ্রস্থচ্ছেদের কাঁচের টিউব। ইহার এক মুখ বন্ধ, অন্য মুখ খোলা। বন্ধ মুখ (L) উপরে ও খোলা মুখ (M) নীচে রাখিয়া টিউবটিকে কাঠের স্ট্যাণ্ডের পৃষ্ঠে খাড়া করিয়া বাঁধা হয়। LM টিউবের ডাইন পাশে একখানি মিটার স্কেল (S) বসান আছে। PP' একটি দুই মুখখোলা পারদ আধার। ইহাও খাড়াভাবে আছে বটে, কিন্তু প্রয়োজন অনুসারে ইহাকে উঠান-নামান যায়। আধার PP' স্কেল Sএর অপর ধার ধরিয়া উঠে-নামে। LM টিউব ও PP' আধার একটি লম্বা রবারের টিউব (T) দ্বারা যুক্ত। LM টিউবের LL' অংশে বায়ু আছে। ঐ টিউবটির বাকি অংশ ($L'M$) এবং রবার টিউব T ও আধার PP' এর অধিকাংশ পারদপূর্ণ। PP'এর পারদপৃষ্ঠের উপর বায়ুমণ্ডলের চাপ পড়ে।



চিত্র ১১৩—বয়েল টিউব যন্ত্র।

কোন কোন যন্ত্রে LM টিউবটি ঘন সেন্টিমিটারে সরাসরি চিহ্নিত করা থাকে। অর্থাৎ LM টিউবের প্রান্ত L হইতে পারদপৃষ্ঠ L' পর্যন্ত বায়ুর আয়তন কত তাহা ইহার স্কেল হইতে জানা যায়। কোন কোন ক্ষেত্রে LM টিউবের L প্রান্তে একটি বায়ুনিরুদ্ধ (air-tight) স্টপ্ কক্ (C) লাগান থাকে (বাম পার্শ্বের চিত্র দেখ)। মোট কথা এই যে, টিউবের LL' অংশে যে আবদ্ধ বায়ু থাকে উহার আয়তন পরিবর্তন করিয়া বয়েলের সূত্র পরীক্ষা করা হয়।

পরীক্ষা।—পারদ-আধার PP'এর উচ্চতা বাড়াইলে LM টিউবের আবদ্ধ বায়ু অধিক চাপের অধীন হইবে; আবার এই পারদ-আধার নীচে নামাইলে ঐ বায়ুর চাপ কমিবে। এইভাবে বায়ুকে বিভিন্ন চাপের অধীন করিলে উহার আয়তনও বিভিন্ন হইবে। এই চাপ-পরিবর্তন কার্য ধীরে ধীরে করা হইলে আবদ্ধ বায়ুর উষ্ণতা অপরিবর্তিতই থাকিবে এবং সর্বদাই পরীক্ষাগারের উষ্ণতার সমান হইবে। অতএব, কতগুলি নির্দিষ্ট চাপে বায়ুর আয়তন এইভাবে নির্ণয় করিয়া চাপ ও আয়তনের সম্পর্ক হইতে বলা যাইবে যে, বয়েলের সূত্র সঠিক কি-না।

[LM ও PP'এ পারদপৃষ্ঠ একই উচ্চতায় থাকিলে গ্যাসের চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান হইবে। LMএর পারদপৃষ্ঠ PP'এর পারদপৃষ্ঠ অপেক্ষা নীচে থাকিলে গ্যাসের চাপ হইবে = বায়ুমণ্ডলের চাপ + [(PPএর পারদপৃষ্ঠের উচ্চতা)—(LMএর পারদপৃষ্ঠের উচ্চতা)]। এক্ষেত্রের গ্যাসের চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপ অপেক্ষা অধিক হইবে। LMএর পারদপৃষ্ঠ PP'এর পারদপৃষ্ঠ অপেক্ষা উপরে থাকিলে গ্যাসের চাপ হইবে = বায়ুমণ্ডলের চাপ − [LMএর পারদপৃষ্ঠের উচ্চতা) − (PP' এর পারদপৃষ্ঠের উচ্চতা)।] এক্ষেত্রে গ্যাসের চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপ অপেক্ষা কম হইবে।

বায়ুমণ্ডলের চাপ অপেক্ষা উচ্চতর চাপে বয়েল সূত্রের পরীক্ষা।—প্রথমতঃ ব্যারোমিটারের সাহায্যে বায়ুমণ্ডলের চাপ কত জানিয়া লও। মনে কর, এই চাপ পারদের h সেন্টিমিটার। PP' টিউবকে প্রয়োজনমত উঠাইয়া বা নামাইয়া ধীরে ধীরে LM ও PP'এর পারদপৃষ্ঠ একই উচ্চতায় আন। L প্রান্তের জন্য, L' পারদপৃষ্ঠের জন্য ও P পারদপৃষ্ঠের জন্য স্কেল S হইতে পাঠ লও। মনে কর, $L-L'=l$। অতএব LM টিউবের প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল সর্বত্র α হইলে, আবদ্ধ বায়ুর আয়তন $=l\alpha$। বায়ুর চাপ $=h$। বয়েলের সূত্র অনুযায়ী, $hl\alpha$ উষ্ণতা পরিবর্তিত না হইলে ধ্রুব থাকিবে; অর্থাৎ বলা যায়, hl ধ্রুব হইবে (α ধ্রুব বলিয়া)। hl এই ক্ষেত্রে কত হইল দেখ। তারপর পারদ-আধার PP'কে কিছু উপরে তোল। পুনরায় L' পারদপৃষ্ঠ ও P পারদপৃষ্ঠের পাঠ লও। এখন বায়ুর চাপ $=h+$(P পারদপৃষ্ঠের পাঠ $-$ L' পারদপৃষ্ঠের পাঠ) $=h+h_1$, মনে কর।

বায়ুকক্ষের দৈর্ঘ্য $=L$এর পাঠ $-$ L' পারদপৃষ্ঠের পাঠ $=l_1$, মনে কর।

এখন $(h+h_1)l_1$এর মান বাহির কর। এইরূপে h_1এর মান বিভিন্ন লইয়া কয়েকবার পরীক্ষাকার্য চালাও। প্রতিবারই, $hl=(h+h_1)l_1$, হইলে বয়েলের সূত্র সত্য বলিয়া প্রমাণিত হইল বুঝিতে হইবে। মনে রাখিও যে, চাপ-পরিবর্তনের

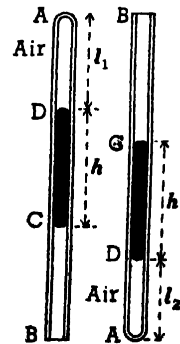
পর h_1 বা l_1এর পাঠ লওয়ার পূর্বে কিছুক্ষণ অপেক্ষা করিতে হইবে যাহাতে বায়ুর উষ্ণতা প্রতিবারেই লেবরেটরির উষ্ণতার সমান হয় অর্থাৎ ধ্রুব থাকে।

বায়ুমণ্ডলের চাপ অপেক্ষা নিম্নতর চাপে বয়েল সূত্রের পরীক্ষা।—প্রথমতঃ বায়ুমণ্ডলের চাপে (h) গ্যাসের দৈর্ঘ্য (l) বাহির করিয়া পূর্ব পরীক্ষার পদ্ধতিতে hl বাহির কর। তারপর PP' পারদ-আধারের পারদপৃষ্ঠ (P) L' পারদপৃষ্ঠের নীচে নামাও। এখন স্কেল হইতে P পারদপৃষ্ঠ ও L' পারদপৃষ্ঠের পাঠ লও। বায়ুর চাপ $= h -$ [(L' পারদপৃষ্ঠের পাঠ) $-$ (P পারদপৃষ্ঠের পাঠ) $=(h-h')$, মনে কর। বায়ুকক্ষের পরিবর্তিত দৈর্ঘ্য $= L$এর পাঠ $- L'$এর পাঠ $= l'$ মনে কর।

এইভাবে h'এর মান বিভিন্ন লইয়া কয়েকবার পরীক্ষাকার্য চালাও ; প্রতিক্ষেত্রেই, $hl=(h-h')l'$, হইলে বয়েলের সূত্র সত্য বলিয়া প্রমাণিত হইল বুঝিতে হইবে। এই পরীক্ষায়ও চাপ-পরিবর্তন ধীরে ধীরে করিতে হইবে এবং উষ্ণতা অপরিবর্তিত রাখিতে হইবে।

মন্তব্য: LM কক্ষের বায়ু শুষ্ক হওয়া দরকার। স্কেল S সঠিক খাড়াভাবে রাখিতে হইবে। বায়ুর আয়তন খুব ধীরে ধীরে পরিবতন করিতে হইবে। ঐ ভাবে না হইলে সঙ্কোচন বা প্রসারণে বায়ুর উষ্ণতা বদলাইয়া যাইতে পারে। পরীক্ষার প্রথমে একবার ব্যারোমিটারের সাহায্যে বায়ুমণ্ডলের চাপ নির্ণয় করিবে এবং পরীক্ষার শেষেও আর-একবার ব্যারোমিটারের সাহায্যে বায়ুমণ্ডলে চাপ নির্ণয় করিবে। এই দুই পাঠের গড় চাপকে বায়ুমণ্ডলের চাপ বলিয়া ধরিবে।

(ক) বয়েল সূত্র পরীক্ষার বিকল্প পদ্ধতি।—
AB একটি সমপ্রস্থচ্ছেদ-বিশিষ্ট সরু কাঁচের নল (চিত্র ১১৪)। ইহার A প্রান্ত বন্ধ ও B প্রান্ত খোলা। নলটির দৈর্ঘ্য আনুমানিক 1 মিটার, প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল সর্বত্র সমান এবং আনুমানিক 2 বর্গ সেন্টিমিটার। খানিকটা পারদ (DC) সূচক হিসাবে নলে লওয়া হইয়াছে। AD অংশে কিছু গ্যাস (বায়ু, মনে কর) আবদ্ধ করিয়া রাখা হইয়াছে। পারদসূত্র DCর দৈর্ঘ্য h সে.মি., মনে কর (আনুমানিক 25 সেন্টিমিটার)। h একটি সরলস্কেল দ্বারা মাপিয়া লও।



চিত্র ১১৪

ব্যারোমিটারে পারদস্তম্ভের উচ্চতা কত প্রথমতঃ দেখ। মনে কর, ইহা H সে.মি.।

খোলা মুখ (B) নীচের দিকে রাখিয়া টিউবটিকে খাড়া করিয়া ধর (চিত্র ১১৪, বাম অংশ)। এখন গ্যাসের দৈর্ঘ্য AD ($=l_1$) মাপিয়া লও। স্পষ্টতঃই এই অবস্থায় গ্যাসের চাপ=পারদের ($H-h$) সে.মি.।

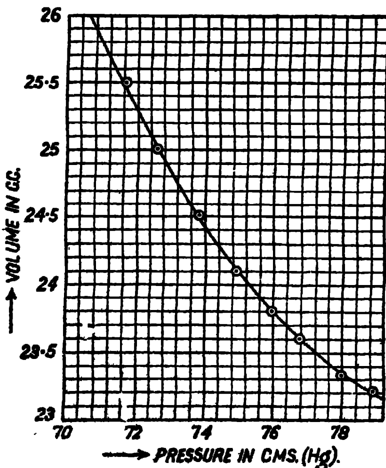
এখন টিউবটিকে উল্টাইয়া (চিত্র ১১৪, ডাইন অংশ) খোলা মুখ B উপর দিকে রাখিয়া ইহাকে খাড়া করিয়া ধর। এই ক্ষেত্রে গ্যাসের দৈর্ঘ্য যাহা হইবে ($=l_2$), মাপিয়া লও। স্পষ্টতঃই গ্যাসের চাপ=পারদের ($H+h$) সে.মি.।

মনে কর, α হইল টিউবটির প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল। তাহা হইলে, ($H-h$) চাপে গ্যাসের আয়তন হইল $l_1\alpha$ এবং ($H+h$) চাপে গ্যাসের আয়তন হইল $l_2\alpha$। এখন $(H-h)l_1$ এবং $(H+h)\ l_2$ এই দুইটি গুণফল হিসাব করিয়া বাহির কর। $(H-h)\ l_1$র গুণফল $(H+h)l_2$র গুণফলের সমান হইলে বয়েল সূত্র সত্য বলিয়া প্রমাণিত হইবে। এক্ষেত্রে, পরীক্ষার একটি চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপ অপেক্ষা বেশি, অন্যটি কম। অতএব এই সহজ পরীক্ষার সাহায্যে বায়ুমণ্ডলের চাপ অপেক্ষা উচ্চতর ও নিম্নতর উভয় চাপেই বয়েলের সূত্রের পরীক্ষা করা হইল। আবার, টিউবটিকে অনুভূমিক অবস্থায় ধরিয়া রাখিলে গ্যাসের চাপ হইবে বায়ুমণ্ডলের চাপের (H) সমান, এবং দৈর্ঘ্য হইবে l (মনে কর)। এখন $Hl=(H+h)l_2=(H-h)l_1$ দেখাইতে পারিলে বায়ুমণ্ডলের চাপে এবং উহার উচ্চতর ও নিম্নতর চাপে বয়েল সূত্রের পরীক্ষা করা হইবে।

টীকা: $(H-h)\times l_1=(H+h)l_2$; বা, $H(l_1-l_2)=h(l_1+l_2)$;

বা, $H=h\dfrac{(l_1+l_2)}{(l_1-l_2)}$।

অর্থাৎ, h, l_1 ও l_2 বাহির করিলে উপরোক্ত পরীক্ষার সাহায্যে বায়ুমণ্ডলের চাপ H নির্ণয় করা যাইবে।



চিত্র ১১৫

১৬৮। গ্যাসের সম-উষ্ণতা-লেখ (Isothermal of a Gas) :—

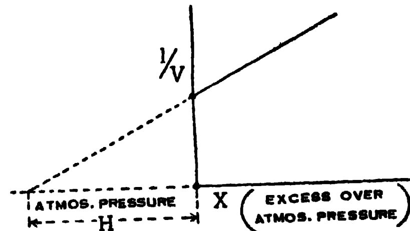
একখানি বর্গরেখক্ষেত্রের উপরে, নির্দিষ্ট উষ্ণতায় কোন গ্যাসের চাপ ও আয়তনের মধ্যে সম্পর্ক দেখাইয়া একটি লেখ

(graph) প্রস্তুত করিলে, ঐ লেখকে উক্ত উষ্ণতায় ঐ গ্যাসের সম-উষ্ণতা-লেখ (isothermal) বলা হয়। চিত্র ১১৫-তে 25° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায় বায়ুর সম-উষ্ণতা-লেখ-র এক নমুনা দেখান আছে। বয়েলের সূত্রানুযায়ী চাপ ও আয়তনের গুণফল ধ্রুব বলিয়া লেখ-টি একটি আয়তকার পরাবলয় (rectangular hyperbola)-এর এক বাহু হইবে।

১৬৯। লেখ-র সাহায্যে বয়েল সূত্রের পরীক্ষা করা ও বায়ুমণ্ডলের চাপ নির্ণয় করা :—বায়ুমণ্ডলের চাপ জানা না থাকিলেও লেখ অংকন করিয়া বয়েল সূত্রের পরীক্ষা করা যায়। মনে কর, H বায়ুমণ্ডলের চাপ এবং বায়ুমণ্ডলের চাপ অপেক্ষা গ্যাসের অতিরিক্ত চাপের পরিমাণ X [অনুচ্ছেদ ১৬৭(ক) দেখ]। এই চাপে গ্যাসের আয়তন, মনে কর, V। একখানি বর্গরেখক্ষেত্রের উপরে X-অক্ষ ধরিয়া অতিরিক্ত চাপ X এবং Y-অক্ষ ধরিয়া $\frac{1}{V}$ (আয়তনের reciprocal) লইয়া একটি লেখ (চিত্র ১১৬) অংকন কর। অংকিত লেখ-টি সরলরেখা হইলে বয়েলের সূত্র সত্য প্রমাণিত হইবে। কারণ, বয়েলের সূত্র সঠিক হইলে, $(H+X)\ V=$ ধ্রুব $=K_1$ হইবে, মনে কর।

অর্থাৎ $$(H+X)=\frac{K_1}{V}=K_1\times Y$$। ইহা একটি সরলরেখার সমীকরণ।

অতএব X *vs* $\frac{1}{V}$, অথবা X-Y লেখ সরলরেখা হইবে।



চিত্র ১১৬

সরলরেখাটিকে পশ্চাৎ দিকে বিন্দু বিন্দু রেখা দ্বারা বর্ধিত করিয়া X-অক্ষকে স্পর্শ করাও। উপরোক্ত সমীকরণ-অনুযায়ী $Y=0$ অর্থাৎ, $\frac{1}{V}=0$ হইলে, $H=-X$ হইবে। অতএব লেখ-র মূলবিন্দু হইতে সরলরেখা ও X-অক্ষের ছেদবিন্দু পর্যন্ত দূরত্ব বায়ুমণ্ডলের চাপ Hএর সমান হইবে। অবশ্য X ঋণ $(-ve)$, কিন্তু $H=-X$ বলিয়া, H ধন $(+ve)$ হইবে।

Examples

1. *At what depth in a lake will a bubble of air have one half the volume it will have on reaching the surface? The height of barometer at the time is 76 cms. and the sp. gr. of mercury = 13·6.*

উত্তর : মনে কর, বুদ্‌বুদটি জলের নীচে x সেণ্টিমিটার গভীরে আছে। জলপৃষ্ঠে বুদ্‌বুদটির আয়তন $= V$। x সেণ্টিমিটার গভীরতায় থাকা অবস্থায়, তাহা হইলে, ইহার আয়তন $= \frac{V}{2}$। x দৈর্ঘ্যের জলস্তম্ভের চাপ $= \frac{x}{13·6}$ সে. মি. পারদস্তম্ভের চাপ। অতএব x গভীরতায় বুদ্‌বুদটির উপর চাপ = পারদের $\left(76 + \frac{x}{13·6}\right)$ সে.মি.।

$\therefore$ বয়েলের সূত্র অনুযায়ী, $\left(76 + \frac{x}{13·6}\right) \times \frac{V}{2} = 76 \times V$; বা, $x = 1033·6$ সে মি.।

2. *What is the depth in water where a bubble of air would just float when the height of the water barometer is 34 ft? Given, the density of water = 62·5 lbs./cu. ft., and that of air = 5/64 lb. per cu. ft.*

উত্তর : মনে কর, x ফুট হইল নির্ণেয় গভীরতা। এই গভীরতায় বায়ুর ঘনত্ব মনে কর d পাউণ্ড, প্রতি ঘনফুটে। স্বাভাবিক চাপে যদি বায়ুর ঘনত্ব d_1 পাউণ্ড, প্রতি ঘনফুটে, হয়, তাহা হইলে, অনুচ্ছেদ ১৬৬ (২) অনুযায়ী,

$$\frac{34}{x+34} = \frac{d_1}{d} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (১)$$

বুদ্‌বুদটি x ফুট গভীরতায় ঠিক স্থির থাকে বলিয়া ঐ স্থানে বায়ুর ঘনত্ব জলের ঘনত্বের সমান হইবে। সুতরাং, উপরোক্ত সমীকরণ (১) অনুযায়ী,

$$\frac{34}{x+34} = \frac{d_1}{\text{জলের ঘনত্ব}} = \frac{5}{64 \times 62·5}$$। সুতরাং, $x = 27,1966$ ফুট $= 5·14$ মাইল (প্রায়)।

3. *A tube of uniform bore 6 ft. long and closed at one end is half filled with mercury and it is then inverted with its open end just dipping into a mercury trough. If the barometer stands at 30 inches, what will be the height of the mercury inside the tube?*

উত্তর : মনে কর, h ইঞ্চি হইল নির্ণেয় উচ্চতা। সুরুতে নলটির $(3 \times 12 =)36$ ইঞ্চি বায়ুপূর্ণ ছিল এবং এই বায়ুর চাপ ছিল 30 ইঞ্চি। ডুবাইবার পরে নলটি বায়ুপূর্ণ ছিল $(6 \times 12 - h)$ ইঞ্চি এবং এই বায়ুর চাপ হইল $(30 - h)$ ইঞ্চি। অতএব বয়েলের সূত্রানুযায়ী, $(72 - h)(30 - h) = 36 \times 30$; বা, $h^2 - 102h + 1080 = 0$; বা, $(h - 90)$ বা, $(h - 12) = 0$; বা, $h = 12$ ইঞ্চি, কিম্বা 90 ইঞ্চি। 90 ইঞ্চি নলটির দৈর্ঘ্য অপেক্ষাও অধিক বলিয়া এই ক্ষেত্রে উহা একটি অসম্ভব সমাধান। অতএব নির্ণেয় উচ্চতা = 12 ইঞ্চি।

4. *The space above a mercury column, in a barometer tube contains some air. The mercury column is 28·4 in. and the space above it is 3·05 iu. The tube is then pushed downwards into mercury so that the mercury column is 28·14 in. while the air-space is 2·34 in. What is the true height of the barometer ?*

উত্তর : মনে কর যে, বায়ুমণ্ডলের প্রকৃত চাপ H ইঞ্চি। অতএব প্রথমতঃ ব্যারোমিটারে আবদ্ধ বায়ুর চাপ$=(H-28·4)$ ইঞ্চি এবং এই বায়ুর আয়তন$=(3·05\times\alpha)$ ঘনইঞ্চি (α বর্গইঞ্চি নলটির প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল)। দ্বিতীয় ক্ষেত্রে, ঐ আবদ্ধ বায়ুর চাপ হইল$=(H-28·14)$ ইঞ্চি এবং ইহার আয়তন $(2·34\times\alpha)$ ঘনইঞ্চি। বয়েলের সূত্র অনুযায়ী, $(H-28·4)\times(3·05\times\alpha)=(H-28·14)\times(2·34\times\alpha)$; বা, $H=29·25$ ইঞ্চি।

Exercises

1. State Boyle's Law. Describe an experimental arrangement for verifying it for pressures greater than and less than one atmosphere.

2. The volume of an air-bubble increases ten-fold in rising from the bottom of a lake to its surface. If the barometric height is 30 inches, what is the depth of the lake ? Sp. gr. of mercury = 13·6. **উত্তর :** 306 ফুট।

3. The Torricellian space in a faulty barometer measures 12 cm. and the mercury column extends 72 cms. above the mercury in the cistern. On depressing the tube in the cistern, the mercury stands at 70 cm. and the space above measures 7·2 cm. What is the atmospheric pressure in centimetres of mercury ? **উত্তর :** 75 সে. মি.।

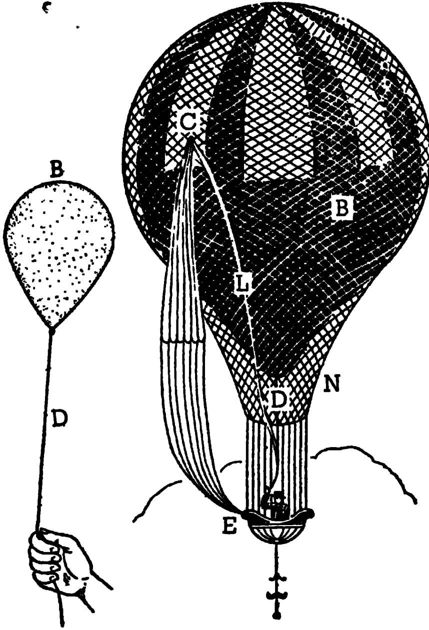
4. A good barometer reads 75 cm. On admitting 1 c.c. of air at atmospheric pressure the reading is 70 cm. Find the volume of the Torricellian space, assuming the cross-section of the tube to be 1 sq. cm.

উত্তর : 15 ঘন সে.মি.।

১৭০। বেলুন : প্যারাসুট :—

বেলুন—চিত্র ১১৭-এর বাম ভাগে একটি খেলনা বেলুন দেখান হইয়াছে। B হইল ইহার রবারের পাতলা খোল। ভিতরে পেষিত বায়ু (বা অন্য কোন হাল্‌কা গ্যাস) ঢুকাইয়া খোলটি প্রসারিত করা হইয়াছে। মুখ খুলিয়া দিলে ঐ পেষিত হাল্‌কা গ্যাস বাহির হইয়া যাইবে এবং খোলটি চুপ্‌সাইয়া যাইবে। গ্যাস ভর্তি করিয়া Bর মুখ একখণ্ড সূতা দ্বারা বাঁধিয়া ঐ সূতার (D) অন্য প্রান্ত হাতে ধরিয়া রাখিতে হইয়াছে।

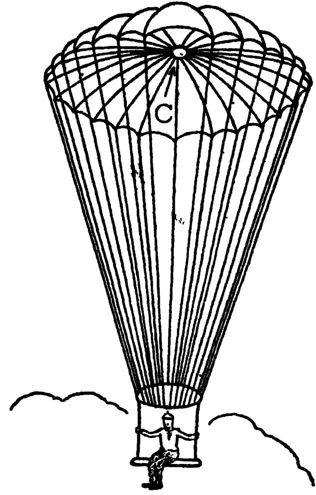
কারণ, বেলুনটির ভার (খোল ও বদ্ধ গ্যাসের সম্মিলিত ভার) বেলুন দ্বারা স্থানচ্যুত বায়ুর ভার অপেক্ষা কম বলিয়া বেলুনটি প্লবতার ক্রিয়ায় ঊর্ধ্বে উঠিতে চায়।



চিত্র ১১৭

চিত্র ১১৭-এর ডান ভাগে বিভিন্ন কাজে ব্যবহৃত প্রকৃত বেলুনের একটি নমুনা ছবি দেখান হইয়াছে। ইহার কার্যনীতিও খেলনা-বেলুনের কার্যনীতির মতই। B হইতেছে একটি রেশমী বা অন্য কোন ঐ রকমের হাল্‌কা শক্ত পদার্থের আবরণ। এই আবরণটির বাহিরের দিক বার্ণিশ করা থাকে। ফলে, ইহা একটি বায়ুনিরুদ্ধ ফাঁপা ব্যাগ হিসাবে কাজ করিতে পারে। ব্যাগটির মধ্যে সাধারণতঃ হাইড্রোজেন বা হিলিয়াম গ্যাস থাকে। এই গ্যাস বায়ু অপেক্ষা অনেক হাল্‌কা বলিয়া বেলুনটি সর্বদাই ঊর্ধ্বযাত্রাপ্রয়াসী। হাইড্রোজেন হিলিয়াম অপেক্ষাও হাল্‌কা বলিয়া হাইড্রোজেন ব্যবহার করাই অধিকতর সুবিধাজনক ; কিন্তু মুস্কিল এই যে, হাইড্রোজেনে সহজেই আগুন ধরে। সেদিক দিয়া হিলিয়াম সম্পূর্ণ নিরাপদ। বেলুনের নীচের অংশে অনেক বালির বস্তা রাখা হয়। বালি ক্রমে ফেলিয়া দিলে বেলুনটি হাল্‌কা হইয়া ধীরে ধীরে উপরে উঠিতে থাকে। বেলুনটি নীচে নামিতে থাকিলে বালি প্রয়োজন মত ফেলিয়া দিয়া বেলুনের নিম্নগমন-বেগ হ্রাস করা যায়। Cতে একটি সেফ্‌টি ভাল্‌ভ (safety valve) আছে। L একটি রজ্জু বা কর্ড। ইহার এক প্রান্ত ভাল্‌ভটির সঙ্গে লাগান থাকে ও অন্য প্রান্ত আরোহীর হাতের কাছে থাকে। বেলুন বেশি উপরে উঠিলে এই কর্ড টানিয়া কিছু গ্যাস বাহির করিয়া দিলে বেলুনটি যতটা দরকার নীচে নামান যায়। বেলুনের আবরণ, গ্যাস, অন্যান্য সাজসরঞ্জাম এবং আরোহীদের মোট মিলিত ভার বেলুন দ্বারা স্থানচ্যুত বায়ুর ভারের অপেক্ষা কম হইলে বেলুনটি উপরে ওঠে।

প্যারাস্যুট.—ইহার সাহায্যে কোন উচ্চ স্থান হইতে (যেমন বিমান হইতে) ভূতলে নিরাপদে নামা যায়। প্যারাস্যুটটি ছড়াইলে ছাতার মত দেখায়। প্যারাস্যুট একপ্রকারের হাল্‌কা শক্ত পদার্থ (যেমন সিল্ক) দ্বারা তৈয়ারি হয়। ইহার চার কিনারায় সমদূরত্বে অনেক রজ্জু (chord) গ্রথিত আছে। এই রজ্জুগুলির অন্য প্রান্ত নীচের একটি ফ্রেমে বাঁধা। বৈমানিক বিমান হইতে গুটানো প্যারাস্যুট লইয়া লাফ দেয় এবং কিছুটা নীচে পড়িবার পর রজ্জুতে টান দিয়া প্যারাস্যুটটি খোলে। প্যারাস্যুটটি ছাতার মত মেলিয়া যায় বলিয়া বৈমানিকের নিম্নগতি-বেগ বায়ুর প্রতিরোধে বহুল কমিয়া যায়। বৈমানিক অপেক্ষাকৃত ধীর গতিতে তাই মাটিতে নামিতে পারে। প্যারাস্যুটের ছাতার কেন্দ্রে একটি ছোট ছিদ্র (C) আছে (চিত্র ১১৮)। ইহার মধ্য দিয়া প্যারাস্যুটের অভ্যন্তরস্থ সংনমিত বায়ু ধীরে ধীরে উপর দিকে বাহির হইয়া যায়। প্যারাস্যুটটি তাই নীচের দিকে আস্তে আস্তে নামে।



চিত্র ১১৮

১৭১। **বেলুনের উত্তোলন ক্ষমতা** (Lifting power of a balloon) :— বেলুন দ্বারা স্থানচ্যুত বায়ুর ভার এবং বেলুনের আভ্যন্তরীণ গ্যাসের ভারের অন্তরকে বেলুনের উত্তোলন ক্ষমতা বলা হয়। মনে কর, স্থানচ্যুত বায়ুর আয়তন V (ঘনত্ব d) এবং বেলুনে ভর্তি করা গ্যাসের আয়তন V' (ঘনত্ব d') ; তাহা হইলে বেলুনের উত্তোলন ক্ষমতা $= Vd - V'd'$। এক্ষেত্রে V ও V' প্রায় সমান। অতএব বেলুনের উত্তোলন ক্ষমতা $= V\ (d - d')$, প্রায়। এই ক্ষমতার কিছুটা বেলুনটিকে সাজসরঞ্জামসহ উপরে উঠাইতে প্রয়োজন হয়, আর বাকিটা কাজে লাগে যাত্রী ও মাল উপরে উঠাইতে।

হাইড্রোজেনের ঘনত্ব $= 0{\cdot}0694 \times$ বায়ুর ঘনত্ব। হিলিয়ামের ঘনত্ব $= 0{\cdot}1388 \times$ বায়ুর ঘনত্ব।

সুতরাং হাইড্রোজেন গ্যাসপূর্ণ বেলুনের উত্তোলন ক্ষমতা $= V\ (d - 0{\cdot}0694d) = 0{\cdot}9306\ Vd$ এবং হিলিয়ম্ গ্যাসপূর্ণ বেলুনের উত্তোলন ক্ষমতা $= V\ (d - 0{\cdot}1388d) = 0{\cdot}8612\ Vd$।

হিলিয়াম হাইড্রোজেন অপেক্ষা দ্বিগুণ ভারি। কিন্তু উপরের হিসাব হইতে বুঝা যায় যে, হিলিয়াম-বেলুনের উত্তোলন ক্ষমতা হাইড্রোজেন-বেলুনের উত্তোলন-ক্ষমতার শতকরা প্রায় ৯৩ ভাগ (৯৩%)।

দশম পরিচ্ছেদ

বায়ুর চাপের প্রয়োগ

বায়ু-পাম্প ঃ জল-পাম্প ঃ সাইফন

১৭২। **বায়ু-পাম্প** (air-pump) :—বায়ু-পাম্প প্রধানতঃ দুই রকমের হয়। যথা—

(ক) **শোষক** (suction) **বা নিঃশেষক** (exhaust) **পাম্প**.—এই পাম্প কোন আধারের মধ্য হইতে বায়ু টানিয়া বাহির করিয়া দিয়া ঐ স্থানের বায়ুচাপ কমাইবার কাজে ব্যবহার করা হয়।

(খ) **পেষক-পাম্প** (compression pump).—এই পাম্প কোন বায়ুপূর্ণ আধারের মধ্যে আরও বায়ু ঢুকাইয়া দিয়া উহাতে বায়ুচাপ বাড়াইবার কাজে ব্যবহার করা হয়।

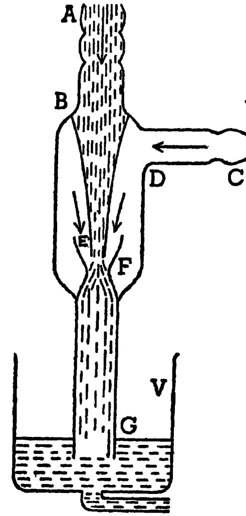
যদিও পেষক-পাম্পও একটি বায়ু-পাম্প, তথাপি বায়ু-পাম্প বলিতে সাধারণতঃ শোষক-পাম্পকেই বুঝায়।

১৭৩। **শোষক বা নিঃশেষক বায়ু-পাম্প** :—

(ক) **জলজেট-পাম্প** (water jet pump) **বা ফিল্টার পাম্প** (filter pump).—এই পাম্পের কার্যপ্রণালী অতি সরল। ইহা ইস্পাত বা প্লাস্টিক দ্বারা নির্মিত হয়।

এই পাম্পের মূল আধার *BD* হইল তিনটি নলের সঙ্গমস্থল (চিত্র ১১৯)। *A* নলটি *B*তে আধারের সহিত যুক্ত হইয়া আধারের অভ্যন্তরে ক্রমশঃ সরু হইতে হইতে সংকীর্ণ

মুখ Eতে শেষ হইয়াছে। এই ABE নলের অক্ষ বরাবর Eর সম্মুখে আধারের সঙ্গে যুক্ত একটি চুঙির ছড়ানো মুখ (F) ধরা আছে। এই চুঙির নলের অপর প্রান্ত (G) গিয়া পড়িয়াছে জলনিকাশ আধার (বা বেসিন) Vতে। V আধারটি ড্রেন-পাইপের সঙ্গে নল দ্বারা যুক্ত। পাম্পের মূল আধার BDর এক পার্শ্বে Dতে একটি তৃতীয় নল (C) আসিয়া যুক্ত হইয়াছে। এই নলটির অপর প্রান্ত যে পাত্র হইতে বায়ু নিষ্কাশন করিতে হইবে তাহার সঙ্গে রবারের টিউব দিয়া যোগ করিতে হয়। A নলের বহির্মুখ জলের কলের সহিত রবার টিউব দিয়া সংযুক্ত করিয়া দিলে কল হইতে দ্রুতগামী জলধারা নল A বাহিয়া উহার সঙ্কীর্ণ মুখ Eতে অবরুদ্ধ হইয়া তীব্রগতি প্রাপ্ত হয় ও Fএ প্রবেশ করে। জলজেট (বা তীব্রগতি জলধারা) যাহাতে চতুর্দিকে ছড়াইয়া না পড়িয়া সহজেই নিম্নাভিমুখী হয় ঐ জন্যই চুঙির মুখ (F) ছড়ানো শঙ্কু আকৃতির করা হয়। জলজেট E হইতে Fএ প্রবেশ করিবার সময় BE নলের চতুর্দিকস্থ কিছু বায়ুকণা জড়াইয়া সঙ্গে লইয়া লয় এবং বায়ুমিশ্রিত ঐ জলধারা FG নলের মধ্য দিয়া বেসিন Vতে পড়ে। ড্রেনের মধ্য দিয়া অবশেষে ঐ জল উন্মুক্ত বায়ুতে আসিলে মিশ্রিত বায়ুকণাগুলি মুক্ত হইয়া বায়ুমণ্ডলে মিশিয়া যায়। জলজেট ক্রমাগত বায়ুকণা বাহির করিয়া দিবার ফলে বায়ু পাত্রের ভিতরের বায়ুচাপ ক্রমেই কমিতে থাকে। এই পদ্ধতিতে বায়ুর চাপ পারদের প্রায় 7 মিলিমিটার অবধি কমান যায়, আর বেশি কমান সম্ভব হয় না।

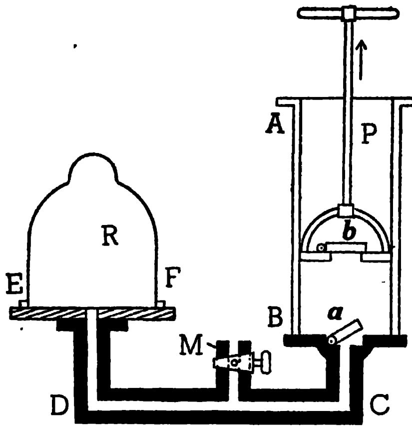


চিত্র ১১৯

(খ) গেরিকের বায়ু-পাম্প বা সাধারণ বায়ু-পাম্প (Guericke's air-pump or the simple air-pump).—প্রশীয় বিজ্ঞানী অটো ভন্ গেরিক ১৬৫৪ খৃষ্টাব্দে এইরূপ পাম্প প্রথম তৈয়ারি করেন।

চিত্র ১২০-এ এইরূপ একটি পাম্প দেখান হইয়াছে। AB একটি পুরু দেওয়ালের মোটা লোহার চোঙ। ইহাকে পাম্পের ব্যারেল (barrel) বলা হয়। ইহার মধ্যে

একটি পিস্টন বায়ুনিরুদ্ধভাবে কাজ করে। পিস্টনের রড *P*র উপরের প্রান্তে একটি হাতল আছে, পিস্টনের মধ্যে আছে একটি ভাল্‌ভ * (*b*)। এই ভাল্‌ভটি কেবলমাত্র বাহিরের দিকে (চিত্রে উপরের দিকে) খোলে। ব্যারেল *AB*র তলায় একটি সরু নল (*CD*) যুক্ত আছে। ঐ সংযুক্তিমুখে দ্বিতীয় আর-একটি ভাল্‌ভ (*a*) আছে। এই ভাল্‌ভটিও বাহিরের দিকে (চিত্রে উপরের দিকে) খোলে। *CD*-নল দুই বার সমকোণে বাঁক লইয়া একখানি মোটা প্লেট *EF*কে ফুরিয়া উহাতে যুক্ত আছে। যে পাত্র (*R*) বায়ুশূন্য করিতে হইবে তাহা *EF* প্লেটের উপর বসান থাকে। প্লেটের রন্ধ্রের মধ্য দিয়া বায়ুপাত্র *R* হইতে বায়ু *DC* পথে *AB*র দিকে যাইতে পারে।



চিত্র ১২০

EF প্লেটের উপর পাত্রটি (*R*) বসাইবার সময় পাত্রের ধারগুলিতে ভাল করিয়া ভেসিলিন লাগাইতে হয়। ইহার ফলে পাত্রটি প্লেটের উপর বায়ুনিরুদ্ধভাবে সাঁটিয়া বসে। *CD*র সহিত একটি পার্শ্ব নল (*M*) যুক্ত থাকে। ইহার প্রবেশমুখে একটি স্টপ্ কক্ লাগান হয়। নলটি একটি চাপমাপক যন্ত্রের (manometer) সহিত সংযুক্ত থাকে।

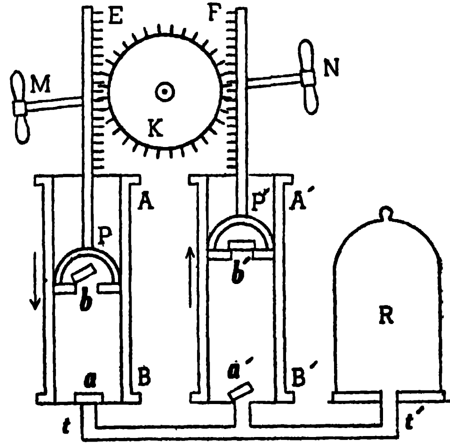
কার্যপ্রণালী।—মনে কর, পিস্টনটি উহার নিম্নতম অবস্থানে (ব্যারেল *AB*র তলায়) আছে। এই অবস্থান হইতে ঊর্ধ্বতম অবস্থানে গমনকে পিস্টনের একটি ঊর্ধ্ব-স্ট্রোক (up-stroke) এবং ঊর্ধ্বতম অবস্থান হইতে নিম্নতম অবস্থানে প্রত্যাবর্তনকে উহার একটি নিম্ন-স্ট্রোক (down-stroke) বলা হয়।

নিম্নতম অবস্থান হইতে ঊর্ধ্ব দিকে যাত্রাকালে ব্যারেলের বাহিরের বায়ুর চাপে ভালভ *b* বন্ধ হইয়া যায়। ফলে, ভাল্‌ভ *a*র উপরস্থ এলাকার আয়তন বৃদ্ধি

* ভাল্‌ভ হইল একটি একমুখী দুয়ার। ইহা এমনভাবে যুক্ত থাকে যে, ইহা মাত্র এক দিকেই খোলে এবং ঐ দিকে বহির্মুখে কোন তরল বা গ্যাসীয় পদার্থ প্রবাহিত হইতে পারে। প্রবাহ বিপরীত দিকে হইলে কপাট বন্ধ হইয়া যোগপথ রুদ্ধ হয়।

হওয়ায় উহার আভ্যন্তরীণ বায়ুর চাপ কমে। তখন CD এবং Rএর মধ্যস্থ বায়ুর উচ্চ চাপে ভাল্‌ভ a খুলিয়া গিয়া উহা হইতে কিছু বায়ু ব্যারেলে প্রবেশ করে। এইভাবে Rএর মধ্যস্থ চাপ কিছু কমে। পিস্টনের পরবর্তী স্ট্রোক হইল নিম্ন স্ট্রোক। নিম্ন স্ট্রোকে ব্যারেলের প্রবিষ্ট বায়ু পেষিত হয় ও উহার চাপ ক্রমশঃ বর্ধিত হইতে হইতে এক সময় ভাল্‌ভ aকে বন্ধ করিয়া দেয়। এই পর্যায়ের পর ক্রমবর্ধমান চাপে ভাল্‌ভ b খুলিয়া যায় এবং ভাল্‌ভ bর খোলা মুখ দিয়া ব্যারেলের অন্তর্গত বায়ু বাহিরের বায়ুমণ্ডলে প্রবেশ করে। এইভাবে ঊর্ধ্ব স্ট্রোকের বেলা কিছু বায়ু পাত্র R হইতে ব্যারেল ABতে প্রবেশ করে এবং নিম্ন স্ট্রোকে ব্যারেলের ঐ বায়ু বায়ুমণ্ডলে নিষ্কাশিত হয়। পর পর ঊর্ধ্ব স্ট্রোক ও নিম্ন স্ট্রোক দিতে থাকিলে পাত্র হইতে ক্রমাগত বায়ু নিঃশেষিত হইতে থাকে। যে অবস্থায় Rএর আভ্যন্তরীণ বায়ুচাপ ভাল্‌ভ aকে আর উত্তোলিত করিতে পারে না, তাহা হইল এই পাম্পের বায়ুনিষ্কাশনের শেষ পর্যায়।

দুই ব্যারেলযুক্ত বায়ু-পাম্প (Double-barelled air-pump)—বর্ণিত এক ব্যারেলযুক্ত বায়ু-পাম্প নিরবচ্ছিন্নভাবে বায়ুশোষণের কাজ করিতে পারে না। নিম্ন স্ট্রোকে কোন বায়ু বায়ুপাত্র হইতে শোষিত হয় না বলিয়া ঐ সময় বায়ুশোষণের প্রক্রিয়ায় বিরতি ঘটে। এই ত্রুটি সংশোধন করিয়া বায়ু-শোষণের কাজ নিরবচ্ছিন্নভাবে করিতে হইলে দুই ব্যারেলযুক্ত পাম্প ব্যবহার করিতে হয়। 'হক্‌স্‌বী'র (Hawksbee's) পাম্প ডবল-ব্যারেল বায়ুপাম্পের একটি দৃষ্টান্ত।



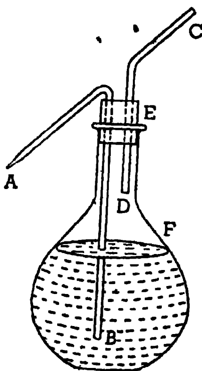
চিত্র ১২১

P ও P' পিস্টনদুইটি, দুইটি স্বতন্ত্র ব্যারেলের (AB ও $A'B'$) মধ্যে ওঠা-নামা করিতে পারে (চিত্র ১২১)। পিস্টনদুইটি একই পিনিয়ন (pinion) Kর দ্বারা চালিত হয়। MN হাতলের

M প্রান্ত নীচে ঠেলিয়া দিলে পিস্টন P নীচে নামে এবং পিস্টন P' উপরে ওঠে। হাতলের অন্য প্রান্ত (N) নীচে ঠেলিয়া দিলে P উপরে ওঠে এবং P' নীচে নামে। ব্যারেল AB ও $A'B'$ একই সাধারণ টিউব $t\ t'$এর সহিত যুক্ত। $t\ t'$-টিউবটির এক প্রান্ত বায়ুপাত্রের (R) সহিত যুক্ত করা হয়। এই পাত্র হইতেই বায়ু নিষ্কাশন করা হয়।

পিস্টন P ঊর্ধ্ব স্ট্রোকে বায়ুপাত্র R হইতে বায়ু বাহির করে। পরবর্তী নিম্ন স্ট্রোকের সময়ে (চিত্র ১২১ দেখ) অপর পিস্টন P'এর ঊর্ধ্ব স্ট্রোক হয় বলিয়া উহা পাত্র R হইতে বায়ু বাহির করে। এইভাবে বায়ুনিষ্কাশন-কার্য অবিরাম চলিতে থাকে। দুই ব্যারেলযুক্ত পাম্পের বায়ুনিষ্কাশন হার এক ব্যারেলযুক্ত পাম্পের বায়ুনিষ্কাশন হারের দ্বিগুণ। বায়ুনিষ্কাশন-শেষ-সীমা (অর্থাৎ নিম্নতম কত চাপ সৃষ্টি করা সম্ভব) উভয় পাম্পেই এক।

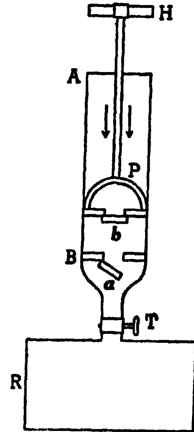
১৭৪। **ওয়াশ-বোতল** (Wash-bottle) :—এই যন্ত্রটি রাসায়নিক পরীক্ষাগারে ব্যাপকভাবে ব্যবহৃত হয়। F (চিত্র ১২২) একটি কাঁচের ফ্লাস্ক (flask)। ইহা পাতনশুদ্ধ জলে (distilled water) আংশিকভাবে ভর্তি করা থাকে। প্রয়োজনীয় দ্রব্যাদি সূক্ষ্মভাবে ধুইবার কাজে সরু জলজেটের প্রয়োজন হয়। এই বোতল হইতে এইরূপ জলজেট উৎপন্ন করা যায়। ফ্লাস্কটির মুখ একটি রবারের ছিপি (E) দ্বারা বায়ুনিরুদ্ধভাবে বন্ধ করিয়া দেওয়া হয়। এই ছিপির মধ্য দিয়া দুইটি কাঁচের নল (AB ও CD) ফ্লাস্কের ভিতরে ঢোকান থাকে। AB নলের ফ্লাস্কের ভিতরের অংশ খাড়া এবং ইহার নিম্ন প্রান্ত জলের অভ্যন্তরে থাকে এবং এই নলের ফ্লাস্কের বাহিরের অংশ সূক্ষ্মকোণে নীচের দিকে বাঁকানো। ইহার প্রান্ত (A) সরু করিয়া সূচীমুখের মত প্রস্তুত করা হয়। স্থূলকোণে বিপরীত দিকে বাঁকানো CD নলের C মুখে ফুঁ দিয়া কিছু বায়ু ফ্লাস্কটির মধ্যে প্রবেশ করান যায়। এই নলের অপর প্রান্ত (D) জলের কিছুটা উপরে থাকে। ফুঁ দেওয়াতে জলের উপর বায়ুচাপের বৃদ্ধি ঘটে (বায়ুর ঘনতা বৃদ্ধি পায় বলিয়া)। এই বর্ধিত চাপ ফ্লাস্কের জলের উপর প্রযুক্ত হওয়ায় জল BA নল বাহিয়া



চিত্র ১২২

বাহিরে আসে। কারণ, বাহিরের বায়ুমণ্ডলের চাপ অপেক্ষাকৃত কম। A সূচীমুখের মধ্য দিয়া আসে বলিয়া এই জল বেগে জলজেটরূপে বাহির হয়।

১৭৫। পেষক (compression) বা ঘনতাবৃদ্ধিকারী (condensing) বায়ু-পাম্প:—কোন পাত্রের মধ্যে আরও বায়ু পেষণ করিয়া ঢুকাইবার কাজে এই পাম্প ব্যবহৃত হয়। এই পাম্প শোষক পাম্পেরই সদৃশ। তফাৎ এই যে, ভাল্‌ভগুলি বিপরীতমুখী করিয়া বসান হয়। পেষক পাম্পে পিস্টনের সহিত সংযুক্ত ভাল্‌ভ b এবং ব্যারেলের ভাল্‌ভ a উভয়েই যে পাত্রে বায়ু পেষণ করিয়া ঢুকাইতে হইবে তাহার দিকে খোলে (চিত্র ১২৩)। পাত্র R উচ্চ চাপের বায়ু দ্বারা পূর্ণ হইয়া গেলে, ইহার মুখ স্টপ্‌-কক্‌ T দ্বারা বন্ধ করিয়া রাখা যায়। হাতল Hএর সাহায্যে P পিস্টনকে AB ব্যারেলের মধ্যে ঊর্ধ্ব বা নিম্ন দিকে চালনা করা হয়।

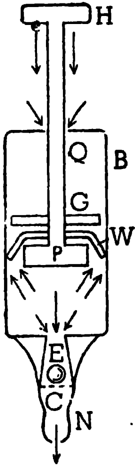


চিত্র ১২৩

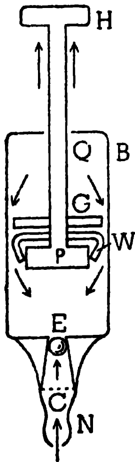
ঊর্ধ্ব স্ট্রোক.—মনে কর, পিস্টন P উপরের দিকে অর্থাৎ B হইতে A প্রান্তের দিকে চালিত হইল। b ভাল্‌ভের উপরে বায়ুমণ্ডলের চাপ রহিয়াছে। অথচ এই সময় ইহার নীচে প্রসরিত বায়ুর চাপ হইল অপেক্ষাকৃত কম। ফলে b ভাল্‌ভটি নীচের দিকে খোলে। এইজন্য ঊর্ধ্ব স্ট্রোকে ব্যারেলে বাহির হইতে বায়ু প্রবেশ করিবে। R পাত্রের বায়ুর চাপে a ভাল্‌ভটি কিন্তু এই সময় বন্ধই থাকিবে।

নিম্ন স্ট্রোক.—পিস্টনটি A হইতে Bর দিকে চালিত হইলে ব্যারেলের বায়ু ঘনীভূত হইতে থাকে বলিয়া উহার চাপবৃদ্ধি ঘটে। ব্যারেলের মধ্যস্থ বায়ুচাপ বৃদ্ধি পাওয়ায় ভাল্‌ভ b বন্ধ হইয়া যায় এবং যথাসময়ে ভাল্‌ভ a খুলিয়া গিয়া ব্যারেলের পিষ্ট বায়ু পাত্র Rএ প্রবেশ করে। একটি ঊর্ধ্ব স্ট্রোক ও একটি নিম্ন স্ট্রোক সম্পন্ন হইলে ব্যারেলের আয়তনের সম আয়তনের বায়ু পাত্র Rএর মধ্যে প্রবিষ্ট হয়। পাম্পটি ক্রমাগত চালাইতে থাকিলে পেষিত বায়ু জমা হইয়া হইয়া ক্রমে পাত্র Rএ প্রচুর বর্ধিত চাপের বায়ুর সমাবেশ ঘটে।

১৭৬। পেষক পাম্পের বিভিন্ন ব্যবহার :—



(ক) ফুটবল পাম্প.—এই পাম্পে হাতল Hএর সাহায্যে পিস্টন Pকে ব্যারেল Bর ভিতর দিকে চাপা যায় বা বাহির দিকে টানা যায় (চিত্র ১২৪)। এই পাম্পের পিস্টনের সহিত সাধারণ ভাল্‌ভের (পূর্ববর্ণিত পাম্পের ভাল্‌ভ bর মত) পরিবর্তে লাগান থাকে কাপের (cup) আকৃতির এক চামড়ার ওয়াশার (W)। একখানি প্লেট Gর সাহায্যে Wকে পিস্টন Pর সহিত ধরিয়া রাখা হয়। পিস্টনের ব্যাস ব্যারেলের ব্যাস অপেক্ষা ছোট। পাম্পটির বায়ুনির্গমন মুখের সরু অগ্রভাগ (N) ফুটবল ব্লাডারের নলের মুখে বায়ুনিরুদ্ধভাবে সাঁটিয়া লাগান হয়।



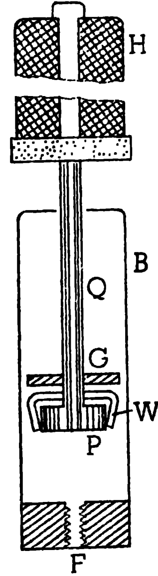
চিত্র ১২৪

কার্যপ্রণালী.—নিম্ন স্ট্রোকে (inward stroke, পিস্টন যখন পাম্পের অগ্রভাগের দিকে যায়; উপরের ছবি দ্রষ্টব্য) বায়ু পেষিত হয় বলিয়া ঐ বায়ুর চাপে ওয়াশারটি (W) ব্যারেলের গাত্রের সহিত বায়ুনিরুদ্ধভাবে লাগিয়া থাকে। পাম্পের বায়ুনির্গমনের অলিপথে একটি হাল্‌কা বল (E) পাম্প-ভাল্‌ভের কাজ করে। যে অলিপথে ইহা বসান উহা শঙ্কু-আকৃতির। ব্লাডারের মধ্যে চাপ অধিক হইলে বলটি উপরে উঠিয়া ব্যারেল ও এই অলিপথের সন্ধিমুখ রুদ্ধ করিয়া দাঁড়ায়। ব্যারেলের মধ্যের চাপ বেশি হইলে বলটি নীচে নামিয়া বহু ছিদ্রযুক্ত একটি জাল Cতে বাধাপ্রাপ্ত হইয়া আর সামনে অগ্রসর হইতে পারে না। নিম্ন স্ট্রোকে অলিপথের শীর্ষমুখ খোলা থাকে বলিয়া বায়ু পেষিত হইয়া ব্যারেলের ভিতর হইতে ব্লাডারের মধ্যে প্রবেশ করে। পিস্টন নিম্নগামী হওয়ায় এই সময়ে হাতলের পাশের ফাঁক দিয়া বাহিরের বায়ু ব্যারেলের মধ্যে প্রবেশ করিয়া উহা পূর্ণ করে।

পরবর্তী বহির্মুখী স্ট্রোকে (outward stroke, পিস্টন যখন পাম্পের বায়ু-নির্গমন মুখের উল্টা দিকে যায় ; নীচের ছবি দ্রষ্টব্য) ব্লাডারের বায়ু প্রসারিত হইতে গিয়া ভাল্‌ভ বল Eকে ঠেলিয়া অলিপথের সন্ধিমুখ বায়ুনিরুদ্ধভাবে বন্ধ করিয়া রাখে। এইজন্য

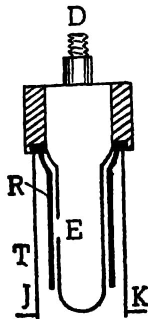
ব্লাডারে প্রবিষ্ট বায়ু বাহির হইয়া আসিতে পারে না। এদিকে পিস্টন উপরে উঠিতে থাকায় ইহার নিম্নে ব্যারেলের মধ্যস্থ বায়ু ক্রমেই প্রসারিত হয় এবং এই স্থানের বায়ুচাপ বায়ুমণ্ডলের চাপ অপেক্ষা কমিয়া যায়। ফলে ওয়াশারের চতুর্ধার বাহিরের বায়ুমণ্ডলের চাপে ভিতরে ঝুলিয়া পড়ে এবং সেই ফাঁক দিয়া বাহিরের বায়ু ব্যারেলে প্রবেশ করে।

পরবর্তী নিম্ন স্টোকে আবার কিছু বায়ু ব্লাডারের মধ্যে ঢোকে। এইভাবে ক্রমাগত পাম্প চালাইতে থাকিলে ক্রমেই ব্লাডারের মধ্যের বায়ুর পরিমাণ ও চাপ বাড়িয়া যাইতে থাকে।



(খ) বাই-সাইকেল পাম্প।—ইহাও একপ্রকারের পেষক-পাম্প। বাই-সাইকেল পাম্প প্রায় ফুটবল পাম্পের মতই, কিন্তু ইহার পাম্প ভাল্‌ভটি ফুটবল পাম্পের পাম্প-ভাল্‌ভের মত নয়। ইহার বায়ুনির্গমন-দ্বারে (F) কোন ভাল্‌ভ নাই (চিত্র ১২৫)। এই দ্বারের ভিতর প্যাঁচ কাটা আছে।

বাই-সাইকেলের চাকার সহিত, দেখিবে, একটি স্বতন্ত্র ভাল্‌ভ-টিউব যুক্ত থাকে। চিত্র ১২৫-এর নীচের অংশে ইহা দেখান হইয়াছে। এই ভাল্‌ভ-টিউবের গাত্রের একপার্শ্বে একটি ফুটা (E) আছে। ধাতুনির্মিত একটি চোঙের আবরণের (T) মধ্যে এই ভালভ-টিউবটি সুরক্ষিত থাকে। চোঙটি চাকার ফ্রেমের উপর (JK) ভিতর দিকে শক্ত করিয়া বসান থাকে। ভালভ-টিউবের গায়ে একটি রবারের আচ্ছাদন (R) পরান থাকে। বস্তুতঃ এই আচ্ছাদনটি একটি স্থিতিস্থাপক পর্দারূপে পাম্প-ভাল্‌ভের কার্য করে। ভাল্‌ভ-টিউবের উপরের প্রান্তে Dর উপরেও প্যাঁচ কাটা থাকে। পাম্পের F প্রান্ত ও ভাল্‌ভ-টিউবের D প্রান্ত পাম্প করার সময় একটি ছোট যোগাযোগ নল দ্বারা পরস্পর যুক্ত করা হয়। এই নলের দুই মাথায়ই প্যাঁচ কাটা থাকে।

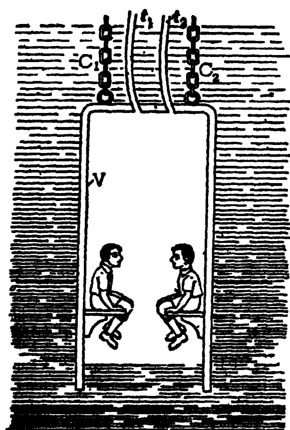


চিত্র ১২৫

কার্যনীতি।—পিস্টন Pর নিম্ন স্ট্রোকের (down stroke) সময় বায়ু ভাল্‌ভ-টিউবের মধ্যে ঠেলিয়া দেওয়া হয়। এই বায়ুর চাপ চাকার অভ্যন্তরস্থ বায়ু-টিউবের চাপের অধিক হইলেই রবারের পর্দা R বাহিরের দিকে ঠেলিয়া পাম্পের ব্যারেলের বায়ু চাকার টিউবের মধ্যে প্রবেশ করে। পিস্টন Pর ঊর্ধ্ব স্ট্রোকের (up-stroke) সময় ভাল্‌ভ-টিউবের মধ্যের বায়ুচাপ কমিয়া যায় এবং চাকার টিউবের মধ্যস্থ উচ্চ-বায়ুচাপে R পর্দাটি E মুখটিকে চাপিয়া বন্ধ করিয়া রাখে। এইজন্য চাকার টিউবের বায়ু বাহির হইয়া যাইতে পারে না।

হাতল H উঠা-নামা করান হইতে থাকিলে প্রবিষ্ট বায়ুর চাপে চাকার টিউবটি ফুলিয়া ওঠে। চাকার টিউবটি নমনীয় রবারের তৈয়ারি। একটি অপেক্ষাকৃত কঠিন রবারের তৈয়ারি আধারের (বা টায়ারের) মধ্যে বসাইয়া উহাকে চাকার কাঠামোর সহিত লাগাইয়া দেওয়া হয়। অভ্যন্তরস্থ বায়ুর সঙ্কোচনশীলতা ও সম্প্রসারণশীলতার জন্যই টায়ার-টিউব লাগানো চাকা সহজেই উঁচু-নীচু রাস্তার উপর দিয়া চলিতে পারে।

(গ) ডুবুরির ঘণ্টা (Diving Bell).—জলের তলায় কাজ করার জন্য ডুবুরির ঘণ্টা ব্যবহৃত হয়। ইহা (চিত্র ১২৬) একটি ঘণ্টার আকৃতির কঠিন লৌহাধার (V) বিশেষ। খোলামুখ নীচের দিকে রাখিয়া ইহাকে জলে নামান হয়। ভিতরে বসিবার জন্য ইহার দেওয়ালে তাক বসান থাকে। ঘণ্টাটি দুইটি শৃঙ্খলের (C_1, C_2) সাহায্যে জলের উপর হইতে ঝুলাইয়া ধীরে ধীরে জলের মধ্যে নামান হয় এবং নিজের ভারে ইহা জলের মধ্যে নিমজ্জিত হইতে থাকে। ঘণ্টাটি যত নীচে নামে ইহার ভিতরের বায়ু তরলের ঊর্ধ্ব চাপে ততই সঙ্কুচিত হয় এবং ঘণ্টার অভ্যন্তরে জলপৃষ্ঠ অল্পে অল্পে উপর দিকে উঠিতে থাকে। জলের নীচে 34 ফুট নামিয়া গেলে ঘণ্টার ভিতরের বায়ুচাপ 2 বায়ুমণ্ডলের (বায়ুমণ্ডলের স্বাভাবিক চাপের দ্বিগুণ) সমান হইবে এবং ঘণ্টার অভ্যন্তরস্থ বায়ু পিষ্ট হইয়া আয়তনে অর্ধেক হইবে। ইহাতে ঘণ্টার ভিতরে অবস্থিত লোকদের অসুবিধা হইতে পারে। এই অসুবিধা যাহাতে না হয় তজ্জন্য জলপৃষ্ঠকে সর্বদা এক নির্দিষ্ট



চিত্র ১২৬

স্তরে রাখিবার জন্য পেষক পাম্পের সাহায্যে উপর হইতে t_1 নল দিয়া ঘণ্টাটির মধ্যে বায়ু ঢোকান হয়। ভিতর হইতে দূষিত বায়ু t_2 নল দিয়া বাহির হইয়া যায়। এই ব্যবস্থায় কর্মরত ব্যক্তিরা বিশুদ্ধ বায়ু পায় এবং ভিতরের জলপৃষ্ঠকে নির্দিষ্ট তলে রাখা চলে।

১৭৭। পেষিত গ্যাসের ব্যবহার :—

(১) **সোডা-ওয়াটার** (Soda-water) তৈয়ারি করার যন্ত্র একটি পেষক-পাম্প ছাড়া অন্য কিছু নয়। ইহার সাহায্যে জলপূর্ণ বোতলে কার্বন-ডাই-অক্সাইড গ্যাস জোর করিয়া ঢুকাইয়া দেওয়া হয়। এই গ্যাস জলে শোষিত অবস্থায় থাকে। এইরূপ কার্বন ডাই-অক্সাইড-শোষিত জলকে 'সোডা-ওয়াটার' বা 'এরেটেড (aerated) ওয়াটার' বলা হয়।

(২) **এয়ার-গানে** (Air-gun) প্রতি স্ট্রোকে কিছু বায়ু ব্যারেলের মধ্যে পেষিত হয়। এই পেষিত বায়ু সুইস্ টিপিয়া মুক্ত করিয়া দিলে একটি স্প্রিংকে বিপুল বলে ঠেলা দেয়। স্প্রিংএ প্রদত্ত এই ভরবেগের সাহায্যেই বুলেট সবেগে বন্দুকটি হইতে ছুটিয়া বাহির হয়।

(৩) **তেলের স্টোভে** (oil stove) একটি হাত-পাম্পের সাহায্যে একটি পাত্রের মধ্যে বায়ু পেষিত হয়। ঐ পেষিত বায়ু পাত্রের তেলকে একটি খাড়া নল ধরিয়া উপরে উঠিতে বাধ্য করে। একটি সূচীমুখ (nozzle) দিয়া বাহির হইবার কালে একটি উত্তপ্ত চাকৃতির সংস্পর্শে আসিয়া ঐ তেল গ্যাসে পরিণত হয় এবং জ্বলিতে থাকে।

(৪) **এয়ার কুশন** (air-cushion) বা বায়ু-কুশন পেষিত বায়ুপূর্ণ একটি ব্যাগ ভিন্ন অন্য কিছু নয়।

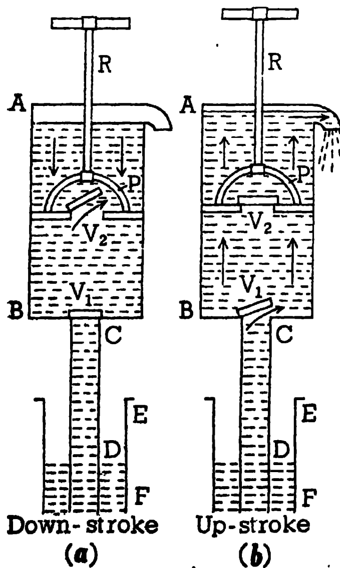
(৫) **এয়ার ব্রাশ** (air-brush) বা বায়ু-ব্রাশে পেষিত বায়ুর সাহায্যে রং ছিটান বা স্প্রে করা হয়। এইভাবে রং দেওয়া হইলে কোন বস্তুর গাত্রে ব্রাশের দাগ পড়ে না।

(৬) **নিউমেটিক ড্রিল** (pneumatic drill) ও **কাটার** (cutter) ইত্যাদি পেষিত বায়ুর শক্তির সাহায্যে চলে।

(৭) রেলগাড়ীতে **স্বয়ংক্রিয় ব্রেক** দরকার। পেষিত বায়ু ধীরে ধীরে ছাড়িয়া ব্রেকের পৃষ্ঠে দৃঢ়ভাবে এক বল প্রয়োগ করিয়া এই ব্রেকের কার্য সাধিত হয়।

১৭৮। **জল-পাম্প** (Water-pumps) :—বায়ুমণ্ডলের চাপের সাহায্য লইয়া এক স্তর হইতে অন্য স্তরে জল উঠাইবার কাজ এই পাম্পগুলি ব্যবহৃত হয়।

(ক) শোষক জল-পাম্প বা সাধারণ জল-পাম্প বা টিউবওয়েল (নলকূপ) পাম্প.—এই পাম্পে লৌহনির্মিত মজবুত একটি ব্যারেল আছে। ব্যারেলের মাথায় পার্শ্ব দিকে একটি জল নির্গমন-মুখ থাকে। ব্যারেলের মধ্যে একটি পিস্টন (P) বসান হয় (চিত্র ১২৭)। ইহা ব্যারেলের গাত্রের সহিত আঁটিয়া উঠা-নামা করে। পিস্টনটি একটি শক্ত সংযোগদণ্ডের (R) দ্বারা হাতলের সহিত সংযুক্ত থাকে। পিস্টনের মধ্যস্থলে আছে একটি ভাল্‌ভ (V_2)। ব্যারেলের নীচের মুখে দ্বিতীয় একটি ভাল্‌ভ (V_1) লাগান হয়। উভয় ভাল্‌ভই চিত্রে প্রদর্শিতরূপে উপর দিকে খোলে। লোহার একটি লম্বা সরল নল (CD) মাটির মধ্যে গভীরভাবে প্রোথিত করা হয়। মাটির মধ্যে কোথাও-না-কোথাও সঞ্চিত জলের স্তর থাকে। CDর তলার মুখ এইরূপ কোন জলের স্তর পর্যন্ত পৌছান চাই। V_1 ভাল্‌ভটি দ্বারী হিসাবে ব্যারেল AB এবং নল CDর যোগাযোগ নিয়ন্ত্রণ করে।



চিত্র ১২৭

কার্যনীতি.—মনে কর যে, জল CD নলের মধ্যে D স্তরে আছে। প্রথম ঊর্ধ্ব স্ট্রোকে পিস্টনের নিম্নস্থ বায়ুর চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপ অপেক্ষা কমিয়া যায়। ইহার ফলে ভাল্‌ভ V_1 খুলিয়া যায় এবং CD নলের অভ্যন্তরস্থ উচ্চতর চাপের বায়ু পিস্টনের মধ্যে প্রবেশ করিয়া প্রসারিত হয়; উপরিস্থিত বায়ুমণ্ডলের চাপ অধিক বলিয়া ভাল্‌ভ V_2 এই সময় বন্ধ থাকে। এইভাবে নলের মধ্যের জলপৃষ্ঠের উপরের বায়ুচাপ নলের বাহিরের জলপৃষ্ঠের উপরের বায়ুমণ্ডলের চাপ অপেক্ষা কমে। এই চাপবৈষম্যের ফলে জল DC নল ধরিয়া উত্তোলিত হয়। পিস্টনটি উহার ঊর্ধ্বতম অবস্থানে না পৌছান পর্যন্ত জল এইভাবে উপরে উঠিতে থাকে। পিস্টনটি যথার্থ বায়ুনিরুদ্ধ হইলে প্রথম ঊর্ধ্ব স্ট্রোকেই কিছু জল ব্যারেলের মধ্যে উঠিয়া পড়িবে।

পরবর্তী নিম্ন স্ট্রোকে পিস্টনের নিম্নস্থ ব্যারেলের আভ্যন্তরীণ বায়ু পেষিত হয় এবং ভাল্‌ভ V_1 বন্ধ হইয়া যায়।

পিস্টনটি নামিতে থাকিলে ব্যারেলের মধ্যের পেষিত বায়ুর চাপ বর্ধিত হওয়ায় ভাল্‌ভ V_2 খুলিয়া যায়। তখন ঐ ভাল্‌ভের মধ্য দিয়া বায়ু বাহির হইয়া যায়। পিস্টনটি ব্যারেলের তলদেশে পৌঁছিলে, ইতিমধ্যে (প্রথম ঊর্ধ্ব স্ট্রোকে) ব্যারেলের মধ্যে কিছু জল প্রবেশ করিয়া থাকিলে, ঐ জল ভাল্‌ভ V_2র মধ্য দিয়া পিস্টনের উপরে চলিয়া আসে।

পরবর্তী ঊর্ধ্ব স্ট্রোকে ভাল্‌ভ V_2 উহার উপরস্থ জল ও বায়ুমণ্ডলের চাপে বন্ধ হইয়া থাকে। এই সময় ভাল্‌ভ V_1এর উপর কাজ করে অবশিষ্ট বায়ুর অল্প চাপ, কিন্তু নীচের দিক হইতে কাজ করে ভূগর্ভস্থ জলের চাপ (বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান)। তাই ঊর্ধ্ব স্ট্রোকের সময় ভাল্‌ভ V_1 খোলা থাকে এবং জল DC নল বাহিয়া উপরে উঠে এবং ভাল্‌ভ V_1এর মধ্য দিয়া ব্যারেলে প্রবেশ করে। পিস্টন যত উপরে উঠে ততই অধিক পরিমাণ জল পার্শ্বের নির্গমন মুখ দিয়া বাহিরে নির্গত হয়।

প্রথম স্ট্রোকেই পাম্প হইতে জল বাহির নাও হইতে পারে। পাম্পের ভিতরের বায়ু বাহির করিয়া দিতেই কয়েকটি স্ট্রোকের প্রয়োজন হইতে পারে। কিন্তু একবার জল পড়িতে সুরু করিলে প্রতি ঊর্ধ্ব স্ট্রোকেই কিছু জল ব্যারেলের মুখ দিয়া বাহিরে পড়িবে।

'পাম্প দ্বারা জল টানিয়া লওয়া হয়,' 'পাম্প জল টানিয়া তোলে' ইত্যাদি কথা প্রায়ই শুনা যায়। কিন্তু মনে রাখিও যে, প্রকৃতপক্ষে জল টানিয়া তোলা হয় না, বায়ুমণ্ডলের বায়ুর চাপ জলকে ঠেলিয়া উপরে তোলে।

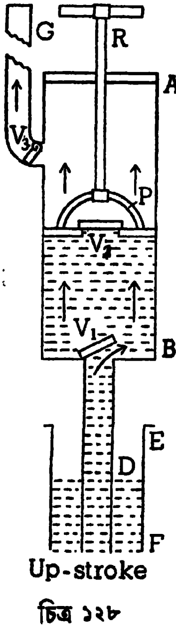
শোষক জল-পাম্পের কার্যসীমা।—মনে কর যে, কোন স্থানে জল-ব্যারোমিটারের জলস্তম্ভের উচ্চতা হইল 34 ফুট। তাহা হইলে ঐ স্থানে বায়ুমণ্ডলের চাপে জল 34 ফুট অপেক্ষা অধিক উচ্চে কখনই উঠিবে না। অতএব CD টিউবের D স্তর হইতে পিস্টন Pর উচ্চতা 34 ফুটের অধিক হইলে এই পাম্প ভূগর্ভ হইতে জল তুলিতে পারিবে না। পিস্টনটি ব্যারেলের গাত্রের সহিত সম্পূর্ণ বায়ুনিরুদ্ধভাবে লাগান সম্ভব নয়। V_1 ভাল্‌ভটিকে তুলিতে উহার উভয় পৃষ্ঠে কিছু চাপের পার্থক্যের প্রয়োজন। এইজন্য একটি টিউবওয়েল বাস্তবক্ষেত্রে যতটা নীচু হইতে 'জল তুলিতে' পারে তাহা 34 ফুট অপেক্ষা অনেক কম হয়।

দ্বিতীয়তঃ, পাম্পটি নিরবচ্ছিন্নভাবে জল বাহির করিতে পারে না। কেবলমাত্র ঊর্ধ্ব স্ট্রোকেই পাম্পের মুখ দিয়া জল বাহির হয়।

পিস্টনটি বায়ুনিরুদ্ধভাবে খাটাইবার জন্য উহার কিনারা ধরিয়া একটি চামড়ার ওয়াশার লাগান হয়। কিছু দিন অব্যবহৃত হইয়া পড়িয়া থাকিলে চামড়ার ওয়াশার বা বাকেট শুকাইয়া ঢিলা হইয়া যায়। তখন পিস্টনটি আর বায়ুনিরুদ্ধভাবে ব্যারেলের গাত্রের সহিত লাগে না। তখন ঐ পাম্পের সাহায্যে জল তোলা সম্ভব হয় না।

কখনও কখনও (ওয়াশার অল্প ঢিলা থাকিলে) দেখা যায় যে, উপর হইতে কিছু জল ঢালিয়া দিলে পাম্পটি কাজ করিতে সুরু করে। পিস্টনটি ঐ জল দ্বারা ব্যারেলের সহিত পুনরায় বায়ুনিরুদ্ধভাবে লাগে বলিয়া ইহা সম্ভব হয়।

(খ) **উত্তোলক পাম্প** (Lift-pump).—এই পাম্পের (চিত্র ১২৮) সাহায্যে যত খুশী উঁচুতে জল তোলা যায়। শোষক জল-পাম্প এবং উত্তোলক পাম্প মূলতঃ এক। কেবল জল-নির্গমন-মুখটি বাঁকাইয়া নিম্নাভিমুখী না করিয়া উত্তোলক পাম্পে ইহাকে খাড়া উপর দিকে রাখা হয়। এই জল-নির্গমন-নল (G) ও ব্যারেলের (AB) সংযোগস্থলে একটি বহির্মুখী ভাল্‌ভ (V_3) বসান থাকে। V_3 ভাল্‌ভটির মধ্য দিয়া জল ব্যারেল হইতে G নল দিয়া উপরে উঠিতে পারে' কিন্তু C নল হইতে ব্যারেলে পুনঃপ্রবেশ করিতে পারে না।



Up-stroke

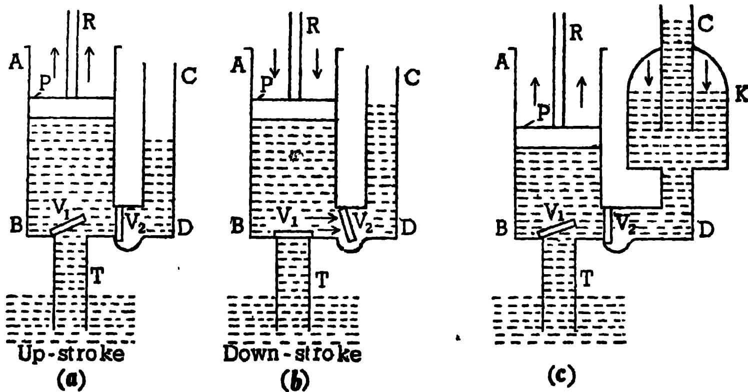
চিত্র ১২৮

কয়েকটি ঊর্ধ্ব স্ট্রোকের পর পিস্টন Pর উপরে যথেষ্ট পরিমাণ জল জমা হয় এবং পরবর্তী ঊর্ধ্ব স্ট্রোকে জলের বর্ধিত চাপে ভাল্‌ভ V_3 খুলিয়া গিয়া জল ব্যারেল হইতে নির্গমন নল Gর মধ্যে প্রবেশ করে। পরবর্তী নিম্ন স্ট্রোকে Gর মধ্যস্থ জলস্তম্ভের চাপে ভাল্‌ভ V_3 বন্ধ হইয়া থাকে। পাম্পের বিভিন্ন অংশ, বিশেষ করিয়া V_3 ভাল্‌ভটি, যথেষ্ট মজবুত হইলে এই পাম্পের সাহায্যে যত খুশী উঁচুতে জল তোলা যায়।

তবে একথা সর্বদা স্মরণ রাখিতে হইবে যে, ভূগর্ভস্থ জলস্তর হইতে ব্যারেলের উচ্চতা জল-ব্যারোমিটারের জলস্তম্ভের উচ্চতা হইতে অধিক হইলে বাহিরের বায়ুমণ্ডলের চাপ ব্যারেল পর্যন্ত জল ঠেলিয়া তুলিতে পারিবে না। উত্তোলক পাম্পও নিরবচ্ছিন্নভাবে জল তুলিতে পারে না। কেবলমাত্র ঊর্ধ্ব স্ট্রোকেই কিছু জল নির্গমন নল Gতে প্রবেশ করে।

১৭৯। **বল-পাম্প** (Force-pump):—ইহাও এক ধরণের উত্তোলক পাম্প। নিম্নে অবস্থিত কোন জলাধার হইতে অনেক উঁচুতে (যেমন কোন বহুতলাবিশিষ্ট বাড়ীর শীর্ষে) জল তুলিবার কাজে এই পাম্প ব্যবহৃত হয়।

এই পাম্পে একটি মজবুত ব্যারেলের (AB) মধ্যে একটি নিরেট পিস্টন (P) বায়ুনিরুদ্ধভাবে কাজ করে (চিত্র ১২৯)। ব্যারেলের তলায় একটি সরল লম্বা নল (T) যুক্ত করা আছে। ঐ নলের নিম্ন প্রান্ত জলাধারের মধ্যে ডুবান থাকে। ব্যারেল ও নলের সংযোগস্থলে একটি ভাল্‌ভ (V_1) আছে। এই ভাল্‌ভটি শুধু ব্যারেলের দিকেই খোলে। ব্যারেলের নিম্ন ভাগে এক পার্শ্বে একটি জল-নির্গমন-নল (CD)



চিত্র ১২৯

খাড়াভাবে যুক্ত করা হয়। এই নল ও ব্যারেলের সংযোগস্থলে আর-একটি ভাল্‌ভ (V_2) আছে। ইহা নলের দিকে খোলে, বিপরীত দিকে সংযোগ পথ রুদ্ধ করে।

কার্যপ্রণালী.—কয়েকটি স্ট্রোক সম্পন্ন হইলে নল T বায়ুশূন্য হইয়া যায় এবং জল উঠিয়া ভাল্‌ভ V_1 পর্যন্ত পৌঁছায়। ইহার পরবর্তী ঊর্ধ্ব স্ট্রোকে পিস্টনের নিম্নস্থ বায়ুচাপ কমিলে (বাহিরের বায়ুমণ্ডলের চাপে ভাল্‌ভ (V_2) বন্ধ থাকে) V_1 ভাল্‌ভের নীচে চাপ বেশি বলিয়া উহা খুলিয়া গিয়া নল T-র জল ব্যারেল ABতে প্রবেশ করে [চিত্র ১২৯, (a)]। পরবর্তী নিম্ন স্ট্রোকে [চিত্র ১২৯, (b)] ব্যারেল ABর আভ্যন্তরীণ চাপ বাড়ে এবং ভাল্‌ভ V_1 বন্ধ হয় এবং ভাল্‌ভ V_2 খুলিয়া গিয়া জল ইহার মধ্য দিয়া DC নলে প্রবেশ করে। ইহার পরে প্রত্যেক ঊর্ধ্ব স্ট্রোকে

কিছু জল ব্যারেলে প্রবেশ করে এবং পরবর্তী নিম্ন স্ট্রোকে ঐ জল সবলে DC নলে ঢুকাইয়া দেওয়া হয়।

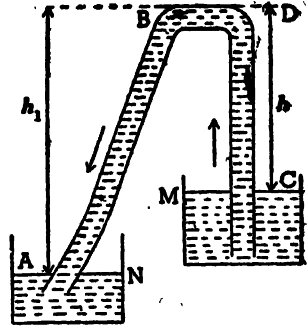
পাম্পটির বিভিন্ন অংশ, বিশেষ করিয়া V_2 ভাল্‌ভটি, যথেষ্ট মজবুত হইলে এবং পিস্টনের (P) উপর যথোপযুক্ত বল প্রয়োগ করিতে পারিলে, DC নলের মধ্য দিয়া যত খুশী উঁচুতে জল উঠান যায়। এই পাম্পও নিরবচ্ছিন্নভাবে কাজ করিতে পারে না। কেবলমাত্র নিম্ন স্ট্রোকেই জল DC নলের মধ্য দিয়া উত্তোলিত হয়।

নিরবচ্ছিন্নভাবে জল সরবরাহের ব্যবস্থা.—চিত্র ১২৯, (c) দেখ। ইহাতে একটি অতিরিক্ত বায়ুকক্ষ (K) দেখান হইয়াছে। D নলটি বায়ুকক্ষটিকে ব্যারেলের সহিত সংযুক্ত করিয়াছে। জল নির্গমন-নল C বায়ুকক্ষের বেশ কিছুটা ভিতর পর্যন্ত প্রবেশ করান আছে। পিস্টনের নিম্ন স্ট্রোকের সময় ভাল্‌ভ V_1 বন্ধ থাকে এবং ভাল্‌ভ V_2 খুলিয়া গিয়া জল D নলের মধ্য দিয়া গিয়া বায়ুকক্ষ Kতে উপনীত হয়। যতটা জল Kতে পৌছায় ততটাই জল নির্গমন-নল C দিয়া বাহির হইয়া যায় না। অবশিষ্ট জল K-বায়ুকক্ষের উপরিভাগের বায়ুকে সংনমিত করিয়া ঐ স্থানে জমা হয়। পরবর্তী উর্ধ্ব স্ট্রোকে ভাল্‌ভ V_2 বন্ধ হইয়া গেলে ঐ সংনমিত বায়ু প্রসারিত হয় এবং উহার ফলে বায়ুকক্ষের জল-নির্গমন-নল C বাহিয়া উপরে উঠে। এইভাবে উর্ধ্ব ও নিম্ন উভয় স্ট্রোকেই নির্গমন-নল দিয়া জল উপরে উঠিতে থাকে। এই পদ্ধতিতে নিরবচ্ছিন্নভাবে জল সরবরাহ করা সম্ভব।

১৮০। সাইফন (Siphon):—যেসব ক্ষেত্রে তরল পদার্থ ঢালিয়া সরান আপত্তিকর বা অসুবিধাজনক, অথবা তরল পদার্থ নিরবচ্ছিন্নভাবে ধীরে ধীরে বহিতে দেওয়া প্রয়োজন, ঐ সমুদয় ক্ষেত্রে কোন উচ্চতর স্থান হইতে নিম্নতর স্থানে তরল পদার্থ স্থানান্তরের কাজে সাইফন ব্যবহৃত হয়। সাইফনের ব্যবস্থা অতি সরল এবং ইহাতে সুবিধা এই যে, ইহার দ্বারা তরল পদার্থ স্থানান্তরের কালে সমগ্র তরল পদার্থ আলোড়িত হয় না।

সাইফন একটি উল্টানো U-আকারের নল। চিত্র ১৩০-এ $ABDC$ দ্বারা একটি সাইফনের নমুনা দেখান হইয়াছে। AB ও CD ইহার দুই বাহু, CD ছোট, AB দীর্ঘ। সাইফন-নলের BD অংশ অনুভূমিক এবং ইহা ঐ দুই বাহুকে যুক্ত করিয়াছে। বাহুদ্বয়ের

প্রান্তিক দুই মুখই খোলা। M তরল আধার হইতে, মনে কর, সাইফনটির সাহায্যে কোন তরল পদার্থ নিম্নে অবস্থিত পাত্র Nএ সরাইয়া আনিতে হইবে। প্রথমে সাইফন-নলটি উক্ত তরল পদার্থ দ্বারা পূর্ণ কর। তারপর উহার দুই মুখ আঙ্গুল দিয়া চাপিয়া বন্ধ রাখিয়া ছোট বাহু CDর মুখ তরল আধার Mএর (যাহা হইতে তরল পদার্থ সরাইতে হইবে) এবং দীর্ঘ বাহু ABর মুখপাত্র Nএর (যে পাত্রে তরল পদার্থ সরাইয়া আনিতে হইবে) তরল পদার্থের মধ্যে ডুবাইয়া ধর। আঙ্গুল সরাইয়া নিয়া মুখদুইটি খুলিয়া দিলে তরল পদার্থ অবিরামভাবে আধার M হইতে সাইফনের মধ্য দিয়া ধীরে ধীরে N পাত্রে আসিতে থাকিবে।



চিত্র ১৩০

কার্যনীতি—[P= বায়ুমণ্ডলের চাপ ; d= তরল পদার্থের ঘনত্ব ; সাইফনের দীর্ঘ বাহু ABর সর্বোচ্চ বিন্দু হইল B এবং ছোট বাহু CDর সর্বোচ্চ বিন্দু হইল D ; B এবং D একই সমতলে আছে। N পাত্রের তরল পৃষ্ঠ হইল A এবং তরল আধার Mএর তরল পৃষ্ঠ C ; C হইতে Dর উচ্চতা $=h$ এবং A হইতে Bর উচ্চতা $=h_1$; h_1 এই ক্ষেত্রে h অপেক্ষা বড়।]

সাইফনের B বিন্দুতে তরল পদার্থের চাপ $=P-h_1dg$ এবং D বিন্দুতে তরল পদার্থের চাপ $=P-hdg$। $h_1>h$ হওয়াতে B বিন্দুতে চাপ D বিন্দুর চাপ অপেক্ষা কম হইবে। অতএব তরল পদার্থ উহার স্বাভাবিক ধর্ম অনুযায়ী D হইতে Bর দিকে প্রবাহিত হইবে। D হইতে তরল পদার্থ Bর দিকে চলিলে Dতে সাময়িক শূন্যাবস্থা সৃষ্টি হইবে। ফলে, বাহিরের বায়ুমণ্ডলের চাপে তরল আধার M হইতে আরও তরল পদার্থ CD বাহু ধরিয়া Dতে উঠিবে। এইরূপে যতক্ষণ $h<h_1$ থাকিবে ততক্ষণ তরল পদার্থ ক্রমাগত তরল আধার M হইতে N পাত্রে যাইতে থাকিবে।

সাইফনের ক্রিয়ার সর্তাবলী.—

(১) গোড়াতে সাইফনটি তরল পদার্থ দ্বারা পূর্ণ করিতে হইবে।

(২) যে পাত্র হইতে তরল পদার্থ স্থানান্তরিত হইবে উহার তরলপৃষ্ঠ সাইফনের দীর্ঘ বাহুর মুক্ত প্রান্তের তরলপৃষ্ঠ অপেক্ষা সর্বদাই উচ্চে থাকিবে, অর্থাৎ, সাইফন ক্রিয়া কালে $h_1>h$ হইবে।

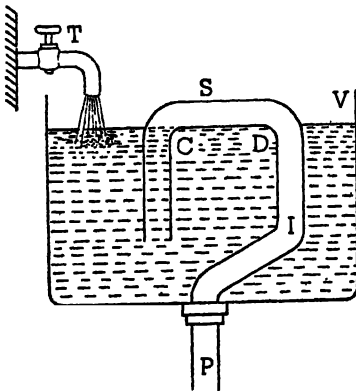
(৩) তরল আধারের তরল পৃষ্ঠ হইতে সাইফনের উচ্চতম বিন্দুর উচ্চতা (CD বা h) ঐ তরলব্যবহৃত ব্যারোমিটারের তরলস্তম্ভের স্থানীয় উচ্চতা হইতে কম হইবে। যে স্থানের উন্নতি (altitude) সমুদ্রপৃষ্ঠের সমান ঐরূপ স্থানে এই উচ্চতা h, 34 ফুটের বেশি হইলে আধার হইতে জল সাইফনটির দ্বারা স্থানান্তরিত হইবে না।

(৪) (বায়ুমণ্ডলের চাপে তরল পদার্থ সাইফনের নল বাহিয়া উপরে উঠে বলিয়া) বায়ুশূন্য স্থানে সাইফন বসাইলে সাইফন কাজ করিবে না।

সাইফনের গায়ে কোন ছিদ্র থাকিলে সাইফন কাজ করিবে কি ?—তরল আধারের তরল পৃষ্ঠের নীচে সাইফনের দীর্ঘ বাহু ABর গায়ে কোন স্থানে ফুটা থাকিলে সাইফন ক্রিয়া করিবে সত্য (যদিও অপেক্ষাকৃত শ্লথ গতিতে) কিন্তু ফুটাটি ঐ তরল পৃষ্ঠের উপরে থাকিলে সাইফন একেবারেই কাজ করিবে না। ইহার কারণ এই যে, ঐ ছিদ্র দিয়া বায়ুমণ্ডলের চাপ তরলের উপর ক্রিয়া করিবে। ফলে, h_1 এই ক্ষেত্রে h হইতে কম হইবে, অর্থাৎ B বিন্দুতে তরলের চাপ D বিন্দুর তরলের চাপ অপেক্ষা বেশি হইবে। সুতরাং তরলের D হইতে Bর দিকে প্রবাহিত হওয়ার আর কারণ থাকিবে না, অর্থাৎ, তরল M আধার হইতে N পাত্রে অপসারিত হইবে না।

১৮১। সাইফনের ব্যবহারিক প্রয়োগ ঃ—

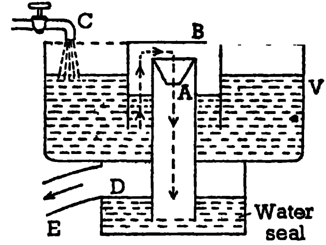
(ক) স্বয়ংক্রিয় ফ্লাশ (Automatic Flush).—মিউনিসিপালিটির সাধারণ সৌচাগারসমূহে এই ধরণের ফ্লাশ ব্যবহার করা হয়। ইহাতে SIP একটি সাইফন (চিত্র ১৩১)। ইহা একটি জলাধার Vর মধ্যে বসান আছে। সাইফনের দীর্ঘ বাহু IP জলাধারটির তলা ভেদ করিয়া নীচে নালা পর্যন্ত নামিয়া গিয়াছে। একটি কল (T) হইতে জলধার Vর মধ্যে ধীরে ধীরে জল পড়িতে থাকে। ফলে, এই জলাধারের জলপৃষ্ঠ ক্রমেই উচু হইতে থাকে। শেষ পর্যন্ত জলপৃষ্ঠ সাইফনের বক্র অংশের মধ্যবর্তী সমতলভাগ Sএ উপনীত হইলে ঐ জল সাইফন-ক্রিয়ায় নালায় পড়িয়া যায়।



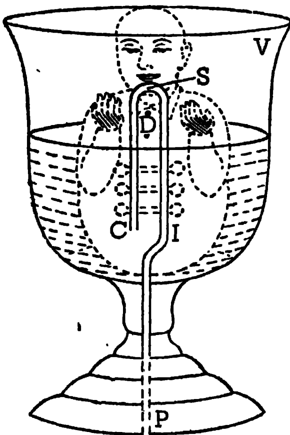
চিত্র ১৩১

আরও আধুনিক ধরণের একটি ফ্লাশ-জলাধার বা ফ্লাশিং শিস্‌টার্ণের (flushing cistern) নমুনা চিত্র ১৩২-এ দেখান হইয়াছে।

এই যন্ত্রে একটি দুই-কক্ষ-বিশিষ্ট জলাধার থাকে। ইহার উচ্চ কক্ষ (V) নিম্ন কক্ষের (D) সহিত একটি খাড়া নল (A) দ্বারা যুক্ত। নলটির নিম্ন প্রান্ত নিম্ন কক্ষের জলের মধ্যে ডোবান থাকে এবং উপরের প্রান্ত (ফানেলের আকৃতি-বিশিষ্ট) উচ্চ কক্ষের জলের কিছু উপরে থাকে। উচ্চ প্রান্তকে ঢাকিয়া একটি উল্টানো কাপ (B) V-কক্ষের জলে ভাসে। এই কাপের তলায় কিছু রুদ্ধবায়ু আছে। নিম্ন কক্ষের পার্শ্ব দিকে একটি জলনির্গমন নল (DE) যুক্ত আছে। কল C হইতে আধার Vর মধ্যে ধীরে ধীরে জল পড়িতে থাকে। নল A সাইফনের কাজ করে। V আধারের জলপৃষ্ঠ নল Aর শীর্ষপ্রান্ত পর্যন্ত পৌছিলে ঐ জল নল বাহিয়া নীচে নামিয়া যায়। জল বাহির হইয়া যাইবার সময় B কাপ হইতে কিছু বায়ুও ঐ জলের সহিত অপসৃত হয়। ফলে, Bর বায়ুর ঘনত্ব ও চাপ কমে এবং বাহিরের বায়ুমণ্ডলের চাপের ক্রিয়ায় (Vর জলপৃষ্ঠের উপর এই চাপ Bর অন্তর্গত বায়ুচাপ অপেক্ষা অধিক বলিয়া) A নল দিয়া জল নিম্ন দিকে প্রবাহিত হইতে থাকে। এক এক বারে জলাধার Vর প্রায় সম্পূর্ণ জল Aর মধ্য দিয়া নিম্ন কক্ষে নামে ও DE-পথে নালার বা ড্রেনের মধ্যে চলিয়া যায়। ছবিতে তীরচিহ্ন দ্বারা জলপ্রবাহের পথ ও দিক্ চিহ্নিত করা হইয়াছে।



চিত্র ১৩২



চিত্র ১৩৩

(খ) ট্যাণ্টেলাসের কাপ (Tantalus cup).—ইহা একটি নৈরাশ্য-প্রদর্শনী খেলনা বিশেষ (চিত্র ১৩৩)। ইহাতে অত্যাচারী ট্যাণ্টেলাসের একটি শাস্তির ব্যবস্থা প্রদর্শিত হইয়াছে। একটি স্বচ্ছ কাপ (V)এর মধ্যে ট্যাণ্টেলাসের আবক্ষ মূর্তি বসান আছে এবং মূর্তির সম্মুখে আছে একটি সাইফন। সাইফনটির উচ্চতম বিন্দু ট্যাণ্টেলাসের তৃষ্ণার্ত অধর পর্যন্ত উঠিয়াছে। কাপের মধ্যে জল

ঢালিতে ঢালিতে জলপৃষ্ঠ ট্যান্টেলাসের নিম্নাধর স্পর্শ করিবার উপক্রম করিলেই জল সাইফনের দীর্ঘ বাহু বাহিয়া কাপের নীচে পড়িয়া যায়—ট্যান্টেলাসের পিপাসা আর মেটে না।

Exercises

1. **Describe a filter pump and explain the mode of its action.**

2. **Give the sketch of an air pump and explain its action. How can you make it double acting ? When is the limit of exhaustion reached ?**

3. **Explain, with the help of a schematic diagram, the principle of action of a condensing pump. Cite two examples of its application.**

4. **Explain the mode of working of a football inflator giving a sketch of it.**

5. **Describe with a diagram the working of an ordinary bicycle pump. What is the action of the valve in the bicycle tube ?**

6. **What is a diving bell ? Explain the principle of its use.**

7. **Explain the working of a tube-well pump giving a representative sketch of it. Is there any limit to the depth from which it can raise water ?**

8. **What is a lift pump ? How dqes it differ from a common tube-well pump ?**

9. **Describe the principle of action of a force pump. What modification is necessary to make it act continuously ?**

10. **Explain the principle of action of a siphon. Show how the principle is utilised in a Tantalus cup.**

11. **State the conditions of working of a siphon. What is the effect of making a hole in the longer arm of it ?**

12. **Explain how the siphon-principle is made use of in an automatic flushing cistern.**

তাপ বিজ্ঞান (Heat)

প্রথম পরিচ্ছেদ

তাপ : উষ্ণতা : উষ্ণমিতি

(Heat : Temperature : Thermometry)

১। **তাপের স্বরূপ কি ?** বরফে হাত দিলে ঠাণ্ডা বোধ হয়। সদ্য সিদ্ধ ভাতে হাত দিলে গরম লাগে। ঠাণ্ডা ও গরমের পার্থক্য সকলেই আপন আপন অভিজ্ঞতার সাহায্যে বুঝিতে পারেন। কিন্তু ঠাণ্ডা বা গরমের অর্থ কি ? একশত বৎসর পূর্বেও লোকে ভাবিত যে, ক্যালরিক (caloric) নামে এক অদৃশ্য ভারহীন (weightless) তরল বা গ্যাসীয় (fluid) পদার্থই কোন বস্তুর ঠাণ্ডা বা গরম হওয়ার জন্য দায়ী। কোন বস্তু হইতে কিছু ক্যালরিক বাহির হইয়া গেলে উহা ঠাণ্ডা হয়, আবার কোন বস্তুতে কিছু ক্যালরিক প্রবেশ করিলে উহা গরম হয়। কিন্তু এই ধারণা ভ্রমাত্মক বলিয়া প্রমাণিত হইয়াছে।

আধুনিক ধারণা অনুযায়ী তাপ শক্তির একটি রূপ মাত্র। তাপশক্তি অন্য যে-কোন শক্তিতে রূপান্তরিত হইতে পারে, অন্য যে-কোন শক্তিও তাপে রূপান্তরিত হইতে পারে। একটি বস্তুকে অন্য আর-একটি বস্তুর সহিত ঘর্ষণ করা হইলে যান্ত্রিক শক্তি তাপশক্তিতে রূপান্তরিত হয়। আদিম মানব এইভাবেই আগুন জ্বালাইত। কয়লার দহনে রাসায়নিক শক্তি তাপশক্তিতে রূপান্তরিত হয়। ঐ তাপশক্তি বয়লারের জলকে বাষ্পে পরিণত করে। এই বাষ্পের শক্তিতে রেলগাড়ী চলে। তাপ শক্তি যান্ত্রিক শক্তিতে রূপান্তরিত হওয়ার ইহা একটি দৃষ্টান্ত। এইরূপ আরও নানা দৃষ্টান্তের সাহায্যে দেখান যায় যে, তাপ শক্তির একটি রূপ ভিন্ন অন্য কিছু নয়।

যেসব বস্তুকে আমরা ঠাণ্ডা বা গরম বলিয়া থাকি তাহাদের প্রত্যেকের মধ্যেই তাপশক্তি বিদ্যমান। উনুনের উপরে বসানো কেত্‌লীর জল উনুন হইতে তাপ শোষণ করিয়া ফুটিতে থাকে। কিন্তু একখণ্ড বরফ ঠাণ্ডা জলে ফেলিয়া দিলে উহা গলিয়া যায়। এক্ষেত্রে বরফখণ্ড ঠাণ্ডা জল হইতে তাপ শোষণ করে এবং গলে। তরলবায়ু (liquid air)-পূর্ণ কোন পাত্র বরফের উপর রাখিলে তরল বায়ু ফুটিতে থাকে। এক্ষেত্রে তরল বায়ু বরফ হইতে তাপ শোষণ করিয়া নেয়। এইরূপ আরও নানা

দৃষ্টান্তের সাহায্যে প্রমাণ করা যায় যে, কোন বস্তু যতই ঠাণ্ডা বা গরম হউক না কেন সর্বদাই উহার মধ্যে কিছু-না-কিছু তাপশক্তি বিদ্যমান থাকিবে। পদার্থের কঠিন, তরল ও গ্যাসীয় সকল অবস্থা সম্বন্ধেই এই তত্ত্ব প্রযোজ্য হইবে।

পদার্থের চলশক্তিতত্ত্ব (Kinetic Theory of Matter) অনুযায়ী কোন বস্তু যে অণুগুলি দিয়া গঠিত উহাদের অবিরাম গতিই তাপশক্তির মূল কারণ। কোন বস্তু অধিকতর গরম হইয়া উঠিলে বুঝিতে হইবে যে অণুগুলির গতি আরও বৃদ্ধি পাইয়াছে। গতি বৃদ্ধি পাইলে, গতিশক্তিও বৃদ্ধি পাইবে বলিয়া গ্যাসীয় পদার্থের চাপও বাড়িবে। বস্তুতঃ দেখা যায় যে, কোন গ্যাসীয় পদার্থ উষ্ণতর হইয়া উঠিলে ইহার চাপও-বাড়িয়া যায়। কোন বস্তু ঠাণ্ডা হইলে ইহার অণুগুলির চলশক্তি কমিয়া যায়। এইজন্যই বলা হয় যে অণুগুলির গতিই কোন বস্তুর তাপশক্তির কারণ। তাই কোন বস্তুর তাপকে এবং ঐ বস্তুর অণুগুলির গতিকে এক ও অভিন্ন বলিয়া বিবেচনা করা যাইতে পারে।

২। তাপের নানা উৎস (Sources of Heat) :—

(ক) প্রত্যক্ষ বা পরোক্ষ ভাবে আমরা যে তাপই পাই না কেন সর্বপ্রকারের তাপই মূলতঃ সূর্যের দান (সাধারণ পদার্থবিজ্ঞানের চতুর্থ অনুচ্ছেদ দ্রষ্টব্য)। সূর্যের কিরণ হইতে আমরা প্রত্যক্ষভাবে তাপ পাইয়া থাকি। খাদ্য, জ্বালানী (কঠিন, তরল বা গ্যাসীয়), বায়ু, জল, ইত্যাদি হইতে যে তাপ আমরা পাই তাহাও প্রকৃতপক্ষে সূর্যেরই দান।

(খ) কোন পদার্থ অন্য পদার্থের সহিত রাসায়নিক ক্রিয়া করিলে অধিকাংশ ক্ষেত্রেই তাপ উৎপন্ন হয়। জ্বালানীর দহনে জ্বালানীর অন্তর্গত উপাদানসমূহ বায়ুর অক্সিজেনের সহিত মিলিত হইয়া রাসায়নিক প্রক্রিয়ায় তাপ উৎপন্ন করে।

(গ) ঘর্ষণে তাপ সৃষ্টি হয়। একটি কঠিন পদার্থের সহিত অন্য আর-একটি কঠিন পদার্থের ঘর্ষণ হইলে তাপ উৎপন্ন হয়। শীতকালে আমরা হাতে হাত ঘষিয়া হাতগুলিকে গরম করিয়া লই। শুষ্ক পাতায় পাতায় বা ডালে ডালে ঘষা লাগিয়া অরণ্যে দাবানলের সৃষ্টি হইতে দেখা গিয়াছে।

(ঘ) যে-কোন ধাতুর তারের মধ্য দিয়া বিদ্যুৎ প্রবাহিত হইলে তাপ উৎপন্ন হয়। বৈদ্যুতিক চুল্লি বা ইলেক্‌ট্রিক্‌ হীটার (electric heater) এইভাবে তাপ উৎপন্ন করে।

(ঙ) কোন বাষ্প (vapour) ঘনীভূত হইয়া তরল পদার্থে পরিণত হইলে অথবা কোন তরল পদার্থ কঠিন পদার্থে পরিণত হইলে অবস্থা পরিবর্তনের (change of state) জন্য খানিকটা তাপ নিষ্ক্রান্ত হয়।

(চ) পৃথিবীর জঠরে বিপুল পরিমাণ তাপ সঞ্চিত আছে।

৩। **উষ্ণতা বা তাপমাত্রা (Temperature) :—**কোন দুইটি বস্তুকে (A এবং B) পর পর স্পর্শ করিয়া Aকে B অপেক্ষা গরম বোধ হইলে আমরা বলি যে, Aর উষ্ণতা Bর উষ্ণতা অপেক্ষা অধিক। কোন বস্তুর অন্তর্গত তাপের ইন্দ্রিয়গ্রাহ্য এই বহিঃপ্রকাশই উহার উষ্ণতা। **উষ্ণতা বস্তুর তাপগত অবস্থা সূচিত করে।**

মনে কর, কোন একটি বস্তুকে অন্য আর-একটি বস্তুর সংস্পর্শে রাখা হইল। এখন প্রথম বস্তুটির তাপগত অবস্থা যদি এমন হয় যে ইহা দ্বিতীয় বস্তুটিকে তাপ দান করে, তাহা হইলে বুঝিতে হইবে যে প্রথম বস্তুটির উষ্ণতা (বা তাপমাত্রা) দ্বিতীয় বস্তু অপেক্ষা অধিক। আবার প্রথম বস্তুটির তাপগত অবস্থা যদি এমন হয় যে দ্বিতীয় বস্তু হইতে উহা তাপ হরণ করে, তাহা হইলে বুঝিতে হইবে যে দ্বিতীয় বস্তুটির উষ্ণতা বা তাপমাত্রা প্রথম বস্তু অপেক্ষা অধিক। অর্থাৎ, তাপ অধিক উষ্ণতাবিশিষ্ট বস্তু হইতে অপেক্ষাকৃত কম উষ্ণতাবিশিষ্ট বস্তুর দিকে ধাবিত হয়। সুতরাং উষ্ণতার (বা তাপমাত্রার) সংজ্ঞা নিম্নোক্তরূপে দেওয়া যায়—

উষ্ণতা বস্তুর তাপগত অবস্থা। এই অবস্থাই নির্ণয় করিয়া দেয় যে কোন বস্তুকে অন্য বস্তুর সংস্পর্শে রাখিলে এই বস্তুটি অন্য বস্তুটিকে তাপ দিবে, না অন্য বস্তুটি হইতে তাপ গ্রহণ করিবে।

তাপ ও উষ্ণতাকে তরল পদার্থ ও উহার উচ্চতার (level) সঙ্গে তুলনা করা যায়।

৪। **তাপ ও উষ্ণতার (বা তাপমাত্রার) পার্থক্য :—**

(১) তাপ ও উষ্ণতা পরস্পরের সহিত ঘনিষ্ঠভাবে সম্পর্কিত হইলেও ইহারা সমার্থক নহে। প্রথমটি হইল বস্তুর অন্তর্গত একপ্রকারের শক্তি, আর দ্বিতীয়টি হইল ঐ শক্তির এক প্রকাশ। টাকা থাকিলে লোকে ধনী হয়। টাকা ও ধনত্ব পরস্পরের সহিত ঘনিষ্ঠভাবে সম্পর্কিত সন্দেহ নাই, কিন্তু ঐ দুইটি কথার অর্থ এক নয়। ধনত্ব টাকার জন্য বটে কিন্তু টাকা নয়। জলের সহিত তুলনা করিয়া বলা যায় যে, জলের শীর্ষ যেমন জল নয়, উষ্ণতাও তেমনই তাপ নয়।

(২) কোন বস্তুকে তাপ দিলে সাধারণতঃ উহার উষ্ণতা (বা তাপমাত্রা) বৃদ্ধি পায়। এই নিয়মের ব্যতিক্রম আছে, গলন (melting), স্ফুটন (boiling), ইত্যাদি অবস্থান্তর-ঘটন (change of state)এর বেলায় ! গলন ও স্ফুটনে তাপ শোষিত হওয়া সত্ত্বেও বস্তুর উষ্ণতাবৃদ্ধি ঘটে না। এই শোষিত তাপ বস্তুকে একই উষ্ণতায় রাখিয়া এক অবস্থা হইতে অন্য অবস্থায় (from one state to another state) লইয়া যায়। যত বেশি তাপ শোষিত হয় তত অধিক পরিমিত বস্তু গলিয়া তরল হয় কিংবা ফুটিয়া বাষ্পে পরিণত হয়।

(৩) দুইটি বস্তু সমান তাপমাত্রার হইলেও উহাদের মধ্যে বিভিন্ন পরিমাণের তাপ থাকিতে পারে। কোন সুমিষ্ট রস হইতে একচামচ রস নিলে উহার মিষ্টত্ব সমগ্র রসের সমান হইবে, কিন্তু সমগ্র রস অপেক্ষা ইহাতে মোট চিনি থাকিবে অনেক কম। কেত্‌লী হইতে চায়ের কাপে যে জল ঢালিয়া নেওয়া হয় উহার উষ্ণতা কেত্‌লীর জলের উষ্ণতার সমান ; কিন্তু কেত্‌লীর জলের পরিমাণ অনেক বেশি বলিয়া উহাতে তাপের মোট পরিমাণ অনেক বেশি।

(৪) এক বস্তু হইতে অন্য বস্তুতে তাপের চলাচলক্রিয়া উহাদের উষ্ণতার দ্বারা নির্ণীত হয়, অন্তর্গত তাপের পরিমাণ দ্বারা নহে। তাপ সর্বদাই অধিক উষ্ণতাবিশিষ্ট বস্তু হইতে কম উষ্ণতাবিশিষ্ট বস্তুতে যাইবে। একটুক্‌রা লাল টক্‌টকে লৌহখণ্ডের মোট তাপের পরিমাণ এক গামলা উষ্ণ জলের তাপের মোট পরিমাণ অপেক্ষা অনেক কম। তবু লৌহখণ্ডটি ঐ জলে ডুবাইলে কিছু পরিমাণ জল বাষ্পে পরিণত হইবে। ইহাতে বোঝা যায় যে, এক্ষেত্রে জলই লৌহদণ্ড হইতে তাপ গ্রহণ করে। ভূমিগর্ভের ড্রেনে অনেক জল থাকা সত্ত্বেও বাড়ীর ছাদের সামান্য জল ড্রেনে আসিয়া পড়ে ; ছাদের উচ্চতা ড্রেনের উচ্চতা অপেক্ষা বেশি বলিয়াই এরূপ ঘটে। তাপের বেলাও অনুরূপভাবে উষ্ণতর বস্তু হইতে কম উষ্ণ বস্তুতে তাপ সঞ্চালিত হয়, বস্তুদুইটিতে তাপের মোট পরিমাণ যাহাই হউক না কেন। তাহা হইলে উষ্ণতা (temperature) হইল বস্তুর তাপজনিত অবস্থার মাত্রা বা তাপমাত্রা।

/৫। তাপপ্রয়োগের ফল :—

(১) **উষ্ণতার পরিবর্তন।**—কোন বস্তুকে তাপ দিলে অবস্থান্তর-ঘটন (change of state) ক্ষেত্র বাদে অন্য ক্ষেত্রে উহার উষ্ণতা বাড়িবে এবং ঐ বস্তু হইতে তাপ নিক্রান্ত

হইলে উহার উষ্ণতা কমিবে। অতি উচ্চ বা অতি নিম্ন উষ্ণতায় (বা তাপমাত্রায়) কোন প্রাণীর জীবন টিকে না।

কোন কঠিন পদার্থের উষ্ণতা খুব বাড়িলে উহা হইতে আলোক বিকীর্ণ হইতে থাকে। বিজলী বাল্‌বের তারের মধ্য দিয়া যে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হয়, তাহা হইতে উৎপন্ন তাপ তারটির উষ্ণতা এমন বাড়ায় যে, তখন তার হইতে আলো বিকীর্ণ হয়। অপেক্ষাকৃত কম উষ্ণতায় তারটি লাল টক্‌টকে দেখা যায়। উষ্ণতা আরও বৃদ্ধি পাইলে তারটি সাদা জ্বল্‌জ্বলে দেখায়। সূর্য এক বিরাট ভরের সাদা জ্বল্‌জ্বলে পিণ্ড। ইহার তাপমাত্রা অতি উচ্চ। আমরা স্বাভাবিকভাবে যে তাপ পাই তাহার সবটুকুই আসে সূর্য হইতে।

(২) বস্তুর আকারগত মাত্রার (dimensions, **যথা—দৈর্ঘ্য, ক্ষেত্রফল বা আয়তন সংক্রান্ত) পরিবর্তন।**—কয়েকটি ব্যতিক্রমের ক্ষেত্র বাদ দিলে, কঠিন, তরল ও গ্যাসীয় সব অবস্থাতেই কোন পদার্থ উষ্ণতা বাড়িলে প্রসারিত এবং উষ্ণতা কমিলে সংকুচিত হয়।

(৩) অবস্থার পরিবর্তন।—তাপপ্রয়োগে কঠিন পদার্থকে তরল পদার্থে বা তরল-পদার্থকে বাষ্পীয় পদার্থে পরিণত করা যায়। আবার তাপ হরণ করিয়া বাষ্পীয় পদার্থকে তরল পদার্থে বা তরল পদার্থকে কঠিন পদার্থে পরিণত করা যায়।

(৪) ভৌত গুণাগুণের (physical properties) **পরিবর্তন।**—উষ্ণতার পরিবর্তনে সকল পদার্থেরই ভৌত গুণাগুণ অল্পাধিক পরিবর্তিত হয়। কঠিন পদার্থ উচ্চ উষ্ণতায় সাধারণতঃ অপেক্ষাকৃত কম স্থিতিস্থাপক (elastic) বা অধিকতর প্ল্যাস্টিক (plastic) হইয়া পড়ে। লৌহ, কাঁচ, ইত্যাদির ক্ষেত্রে উষ্ণতা বৃদ্ধিতে এইরূপ পরিবর্তন তোমরা হয়ত লক্ষ্য করিয়া দেখিয়াছ। উষ্ণতা বৃদ্ধি পাইলে কোন তরল পদার্থ দ্রাব্য পদার্থকে অধিক পরিমাণে দ্রবীভূত করিতে পারে। উষ্ণতা বাড়িলে গ্যাসের চাপ বাড়িয়া যায়। গুণাগুণ-পরিবর্তনের আরও বহু উদাহরণ দেওয়া যাইতে পারে।

(৫) রাসায়নিক ও বৈদ্যুতিক পরিবর্তন।—উষ্ণতা বাড়িলে চিনি কার্বনে পরিণত হয়, চূণ বিযোজিত হইয়া যায়। তাপ বহুক্ষেত্রে রাসায়নিক সংযোজন বা বিয়োজন ঘটায়। রাসায়নিক ক্রিয়ার উপর তাপের সবিশেষ প্রভাব আছে।

উষ্ণতার পরিবর্তনে অধিকাংশ ক্ষেত্রেই পদার্থের বৈদ্যুতিক গুণাগুণে পরিবর্তন আসে।

কোন ধাতব তারের উষ্ণতা বাড়িলে পূর্বের মত উহা আর বিদ্যুতের তত ভাল পরিবাহক থাকে না। কিন্তু কার্বনের তারের উষ্ণতা বাড়িলে উহা বিদ্যুতের আরও ভাল পরিবাহক হয়। দুইটি বিভিন্ন ধাতুর তার দুই প্রান্তে জুড়িয়া একটি লুপ (loop) তৈয়ারি করা যায়। ঐ লুপের জোড়বিন্দু (junction) দুইটির মধ্যে একটির উষ্ণতা বাড়াইলে লুপের তারে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হয়। বিদ্যুৎসৃষ্টিতে তাপের প্রভাবের ইহা একটি সুন্দর উদাহরণ।

মন্তব্য ঃ পদার্থের যান্ত্রিক, আলোকগত, শব্দগত, রাসায়নিক, চুম্বকীয় ও বৈদ্যুতিক ধর্মের উপর তাপের প্রভাব পদার্থবিজ্ঞানে গবেষণার একটি গুরুত্বপূর্ণ বিষয়।

৬। **উষ্ণতার পরিমাপ বা উষ্মমিতি ঃ**—ঠাণ্ডা ও গরম কথাদুইটি আমরা আপেক্ষিক অর্থে ব্যবহার করি। স্পর্শ-ইন্দ্রিয়ের দ্বারা এই বিচার করা হয়। একটি দৃষ্টান্ত আলোচনা করা যাক্। মনে কর, কেহ তাহার ডান হাত গরম জলে ও বাম হাত ঠাণ্ডা জলে ডুবাইল। তারপর সে উভয় হাতই তুলিয়া লইয়া উষ্ণ জলে ডুবাইল। এই জল ডান হাতে ঠাণ্ডা ও বাম হাতে গরম বলিয়া বোধ হইবে, যদিও ঐ জলের উষ্ণতা একই। দ্বিতীয় আর-একটি দৃষ্টান্ত বিবেচনা করা যাক্। মনে কর, একখণ্ড কাঠ ও একটি ধাতুখণ্ড পাশাপাশি রাখা হইয়াছে। হাত দিয়া স্পর্শ করিলে ধাতুখণ্ডটিকে কাষ্ঠখণ্ড অপেক্ষা ঠাণ্ডা মনে হইবে। প্রকৃতপক্ষে কিন্তু বস্তুদুইটির উষ্ণতা একই। উপরোক্ত দৃষ্টান্তসমূহ হইতে বোঝা যায় যে, উষ্ণতাবিচারের ব্যাপারে আমাদের স্পর্শেন্দ্রিয় নির্ভরযোগ্য সহায়ক নহে। কোন বস্তুর উষ্ণতা উহার একটি মৌলিক ধর্ম, আমাদের কোন চেতনার উপর এই গুণ নির্ভর করে না। দূরত্ব, ভর ও সময়ের মত উষ্ণতাও নিজেই নিজের পরিমাপক। যে যন্ত্রের সাহায্যে উষ্ণতা (বা তাপমাত্রা) মাপা হয় তাহাকে তাপমানযন্ত্র, থার্মোমিটার (thermometer) বা উষ্মমাপক বলা হয়। যে সকল থার্মোমিটার বা উষ্মমাপক উচ্চ উষ্ণতা মাপিবার কাজে ব্যবহৃত হয় তাহাদিগকে সাধারণতঃ পাইরোমিটার (pyrometer) আখ্যা দেওয়া হয়। উষ্ণতার সহিত পরিবর্তিত হয় এইরূপ কোন গুণের পরিমাপই থার্মোমিটারের কার্যনীতির ভিত্তি। যে সকল গুণাগুণ সহজে ও নির্ভুলভাবে মাপা যায় থার্মোমিটার-নির্মাণে ঐ সমুদয় গুণাগুণ ব্যবহার করা হয়। সকল উষ্ণতায় সর্বাবস্থায় ব্যবহার করা চলে এরূপ কোন সর্বোপযোগী থার্মোমিটার বা উষ্মমাপক নাই। প্রত্যেক উষ্মমাপকেরই নিজস্ব পাল্লা

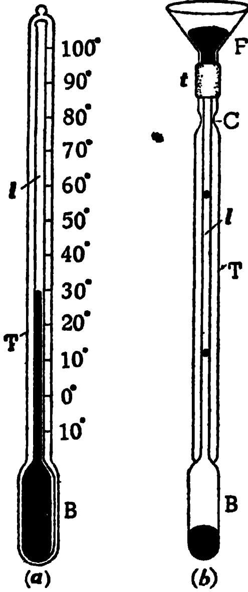
বা রেঞ্জ (range) আছে। বিশেষ বিশেষ কার্জের উপযোগী নানাবিধ থার্মোমিটার আজকাল নির্মিত হইতেছে।

৭। **তরল ব্যবহৃত থার্মোমিটার** (Liquid Thermometer) :—এমন কতকগুলি তরল পদার্থ আছে যাহাদের উষ্ণতা সমান সমান বৃদ্ধি পাইলে আয়তনও সমান সমান বৃদ্ধি পায়। আবার, উষ্ণতা সমান সমান হ্রাস পাইলে আয়তনেও সমান সমান হ্রাস ঘটে। এইরূপ তরল পদার্থসমূহকে থার্মোমিটারের কাজে লাগান হয়। এইরূপ যন্ত্র দ্বারা ব্যবহৃত তরল পদার্থের হিমাঙ্ক (freezing point) হইতে স্ফুটনাঙ্ক (boiling point) পর্যন্ত যে-কোন উষ্ণতা নির্ণয় করা যায়। তরল পদার্থটি কোন-না-কোন ধারকের (container) মধ্যে থাকিবে। ধারকের মধ্য হইতে বায়ু বাহির করিয়া দিয়া উহার মুখ সীল (seal) করিয়া দেওয়া হয়। পারা, কোহল, কার্বলিক অ্যাসিড, গ্লিসারিণ বেন্‌জল (benzol), টলুঅল্‌ (toluol), ইত্যাদি তরল পদার্থ সাধারণতঃ ব্যবহার করা হইয়া থাকে। ধারক, বিশেষ ক্ষেত্র ব্যতীত, সাধারণতঃ কাঁচ দ্বারা তৈয়ারি হয়। এইসব থার্মোমিটারের মধ্যে সর্বাপেক্ষা জনপ্রিয় ও উপযোগী হইল কাঁচের-আধারে-পারা-ব্যবহৃত (mercury-in-glass) থার্মোমিটার বা কাঁচ-পারা থার্মোমিটার। পারা $-38{\cdot}87^\circ$ সেন্টিগ্রেডে জমিয়া যায় এবং 356° সেন্টিগ্রেডে ফুটিতে থাকে। তাই পারদ-থার্মোমিটারের পাল্লাও $-38{\cdot}87^\circ$ সেন্টিগ্রেড হইতে 356° সেন্টিগ্রেড পর্যন্ত। পারার উপরের শূন্য স্থান অধিক চাপের নাইট্রোজেন বা হিলিয়াম্‌-দ্বারা পূর্ণ করিয়া লইলে এই থার্মোমিটার 500° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতা পর্যন্ত ব্যবহার করা চলে। এইরূপ উচ্চ তাপমাত্রার জন্য আধারটি জেনা (Jena) বা ভেরে ডুর (verre dur)এর মত উৎকৃষ্ট কাঁচ দ্বারা তৈয়ারি করিতে হয়। কোয়ারজ (quartz) বা সিলিকা (silica)র আধারের মধ্যে উচ্চ চাপে পারা রাখিয়া এই ধরণের তাপমানযন্ত্রকে 750° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতা পর্যন্ত ব্যবহার করা চলে।

৮। **কাঁচের নলে পারদ-ভরা তাপমানযন্ত্র বা উষ্মমাপক বা থার্মোমিটার :** (Mercury-in-glass thermometers) :—

(ক) গঠনপ্রণালী.—চিত্র ১, (*a*)তে একটি পারদ থার্মোমিটার নির্মিত অবস্থায় দেখান হইয়াছে। আর চিত্র (*b*)তে ঐ থার্মোমিটার নির্মাণের অবস্থায় দেখান

T হইল একটি পুরু দেওয়ালের কাঁচের নল। ইহার নালি (*l*)-র ব্যাস আগাগোড়া সমান। দুই মুখ খোলা অবস্থায় ইহা লওয়া হয়। প্রথমে নলটিকে খুব ভালভাবে পরিষ্কার করা হয়* এবং তারপর ইহাকে সম্পূর্ণ শুষ্ক করিয়া লইয়া নলটির এক প্রান্ত উত্তপ্ত করিয়া ঐ প্রান্তে একটি বাল্‌ব (*B*) ব্লো (blow) করা (অর্থাৎ ফুঁ দিয়া তৈয়ারি করা) হয় ; বাল্‌বটির দেওয়াল খুব পাতলা হওয়া দরকার। নলটির অন্য প্রান্ত উত্তাপ দ্বারা নরম করিয়া এবং তারপর টানিয়া ঐ নলের শীর্ষভাগে একটি সরু গলা (neck) সৃষ্টি করা হয়। পারা ভর্তি করার পর এই স্থানেই ব্লো পাইপের শিখা প্রয়োগ করিয়া নলটির মুখ চট্ করিয়া সীল (seal) করিয়া দেওয়া হয়। একটি রবার টিউব (*t*) দ্বারা একটি ফানেল (*F*) কাঁচের নলটির খোলা মুখের উপর বসান হয়। ফানেলসহ নলটি একটি খুঁটির সাহায্যে খাড়াভাবে ধরিয়া রাখিয়া কিছু বিশুদ্ধ শুষ্ক পারা ফানেলটির মধ্যে



চিত্র ১

দেওয়া হয়। নলের নালি খুব সূক্ষ্ম বলিয়া মধ্যস্থ বায়ুচাপ এই পারাকে নলের মধ্যে প্রবেশ করিতে দেয় না। পারা নলের মধ্যে ঢুকাইবার জন্য বাল্‌বটি আস্তে আস্তে গরম করা হয়। গরম করিলে নলের বায়ুর চাপ বাড়িয়া যায় এবং উহার কিছুটা ফানেলের পারার মধ্য দিয়া বুদ্‌বুদ আকারে বাহির হইয়া যায়। তারপর বাল্‌বটিকে ঠাণ্ডা হইতে দিলে নলের বায়ু ঠাণ্ডা হয় ও উহার চাপ কমিয়া যায়। ফলে বাহিরের বায়ুমণ্ডলের চাপ ভিতরের বায়ুচাপ অপেক্ষা অধিক বলিয়া কিছু পারা নলের মধ্যে প্রবেশ করে। বাল্‌বটিকে এইভাবে বারবার **ক্রমপর্যায়ে গরম ও ঠাণ্ডা করিয়া** নলের মধ্যে পারা প্রবেশ করাইয়া বাল্‌বটি পারার দ্বারা পুরা (নলের খানিকটা পর্যন্ত) ভর্তি করা হয়। ইহার পর ফানেলটিকে খুলিয়া সরাইয়া দেওয়া হয়। তারপর বাল্‌বটিকে ক্রমশঃ তাপ দিয়া পারা স্ফীত করিতে থাকিলে পারা যখন নলটিকে পুরাপুরি ভর্তি করিয়া *C*

* অ্যাসিড, অ্যালকেলি ও বিশুদ্ধ জল দ্বারা পর্যায়ক্রমে কয়েক বার।

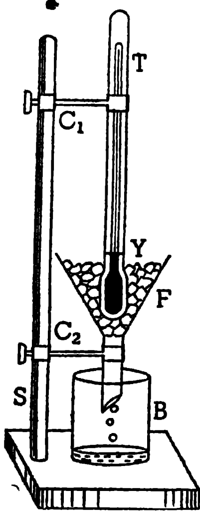
বিন্দুতে পৌছায় তখন ব্লো পাইপের শিখা প্রয়োগ করিয়া তাড়াতাড়ি ঐ মুখটি সীল করিয়া দেওয়া হয়। ঠাণ্ডা হইলে পারা সংকুচিত হয় এবং বাল্‌ব ও নলের নিম্ন:ভাগের কিছুটা অংশ অধিকার করিয়া থাকে। নলের মধ্যে বায়ু একেবারেই থাকে না, পারার উপরের আপাতশূন্য স্থানটুকুতে কিছু অল্প চাপবিশিষ্ট পারদবাষ্প থাকে বটে।

(খ) থার্মোমিটারের অংশাংকন-পদ্ধতি (Graduation)—গাত্রে তাপমাত্রার ক্রমিক অংশচিহ্ন চিহ্নিত করিবার পূর্বে থার্মোমিটারটিকে যথোপযুক্তভাবে পাকাইয়া (ageing) লইতে হয়। 'পাকাইয়া লওয়া'র উদ্দেশ্য হইল এই যে ভবিষ্যতে যেন উহার আয়তন আর পরিবর্তিত না হয়। নির্দিষ্ট উচ্চ তাপমাত্রা পর্যন্ত তপ্ত করার পর কিছু দিন ধরিয়া ঐ পারদপূর্ণ অবস্থায় উহাকে বায়ুতে ফেলিয়া রাখা হইলে ধীরে ধীরে ঠাণ্ডা হইয়া থার্মোমিটারটি পূর্বতন আয়তনে ফিরিয়া আসিতে পারে। কয়েক বার এইরূপ করা হইলে কাঁচের আধারটি পাকান হয় এবং পরে তাপের ক্রিয়ায় ইহার আর কোন স্থায়ী বিকৃতি হয় না। এইরূপে পাকাইবার পর ইহার উপর দাগ কাটা হয়। এই ব্যাপারে প্রথম কাজ হইল ইহাতে দুইটি নির্দিষ্ট তাপাঙ্কের (two fixed points) চিহ্ন দেওয়া। ইহাদের মধ্যে নিম্ন তাপাঙ্কটিকে হিমাঙ্ক (ice-point) এবং উচ্চ তাপাঙ্কটিকে জলীয় বাষ্পাঙ্ক (steam-point) বলা হয়।

(১) হিমাঙ্ক বা হিমবিন্দু বা নিম্ন নির্দিষ্ট-তাপাঙ্ক (The ice-point or the lower fixed point).—বায়ুমণ্ডলের স্বাভাবিক চাপে বিশুদ্ধ বরফ যে উষ্ণতায় গলিতে সুরু করে তাহাকেই হিমবিন্দু, হিমাঙ্ক বা নিম্ন নির্দিষ্ট-তাপাঙ্ক বলা হয়। বায়ুমণ্ডলের চাপের সামান্য হ্রাসবৃদ্ধিতে হিমবিন্দুর তাপমাত্রার কোন উল্লেখযোগ্য পরিবর্তন হয় না। তাই খুব: সূক্ষ্ম মাপের থার্মোমিটারের কথা বাদ দিলে, অন্যান্য থার্মোমিটারের ক্ষেত্রে পরীক্ষাগারে বায়ুর যাহা সাধারণ চাপ ঐ চাপেই হিমবিন্দু-রেখা নির্দিষ্ট করা চলে, ইহাতে সামান্য যাহা ভুল হয় তাহা সংশোধন করা দরকার হয় না।

নিম্ন নির্দিষ্ট-তাপাঙ্ক চিহ্নিতকরণ-পদ্ধতি।—বিশুদ্ধ বরফ গুঁড়া করিয়া পাতনশুদ্ধ (distilled) জলে ধুইয়া লও। S স্ট্যাণ্ডের C_2 ক্ল্যাম্পের সাহায্যে একটি বড় ফানেল (F) খাড়া করিয়া ধর (চিত্র ২)। একটি বদ্ধ বীকার (B) ফানেলের নলের

মুখের তলায় বসাও। ইহা বরফ-গলা জল ধরার জন্য। ফানেলটিকে বরফচূর্ণ দ্বারা পূর্ণ কর। তারপর একটি পরিষ্কার কাঁচের রডের সাহায্যে ফানেলের কেন্দ্র বরাবর বরফের মধ্যে একটি গর্ত করিয়া লও (এই কাজ থার্মোমিটারটির দ্বারা করিও না, করিলে উহা ভাঙিয়া যাইবে)। থার্মোমিটারের বাল্‌বটিকে এই গর্তের মধ্যে ঢুকাইয়া ক্ল্যাম্প C_1এর সাহায্যে উহাকে ঠিক খাড়া করিয়া ধরিয়া রাখার ব্যবস্থা কর। এখন বাল্‌বের চতুর্দিকে বরফচূর্ণ স্বল্পচাপে ক্রমে চাপিয়া চাপিয়া ঠাসিয়া দাও। বরফচূর্ণের ফাঁকে ফাঁকে বদ্ধ বায়ু যত কম থাকে তত ভাল। ঠাণ্ডা হইতে হইতে পারদ ধীরে ধীরে নলের মধ্যে নামিতে থাকিবে, এবং দেখিবে, অবশেষে, কোন এক নির্দিষ্ট স্থানে আসিয়া স্থির হইয়া দাঁড়াইবে। যতক্ষণ উহা না হয় অপেক্ষা কর। ১০।১৫ মিনিটেই দেখিবে পারদস্তম্ভ স্থির হইয়াছে। এইরূপ হওয়ার পর



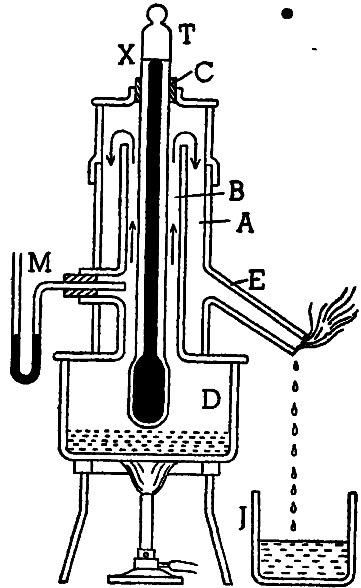
চিত্র ২

পারদস্তম্ভের শীর্ষ বরাবর কাঁচের গাত্রে একটি দাগ (Y) দাও। ইহাই হইবে থার্মোমিটারটির নিম্ন নির্দিষ্ট-তাপাঙ্ক বা হিমাঙ্ক-রেখা।

(২) জলীয় বাষ্পাঙ্ক বা জলীয় বাষ্পবিন্দু বা উচ্চ নির্দিষ্ট-তাপাঙ্ক (The steam-point or the upper fixed point).—বায়ুমণ্ডলের **স্বাভাবিক চাপে** বিশুদ্ধ জল যে উষ্ণতায় ফুটিতে আরম্ভ করে তাহাকেই জলীয় বাষ্পবিন্দু বলা হয়। কার্যতঃ, বায়ুমণ্ডলের স্থানীয় চাপে সাধারণ জল হইতে উৎপন্ন জলীয় বাষ্পের মধ্যে রাখিয়াই থার্মোমিটারের জলীয় বাষ্পবিন্দু নির্ণয় করা হয়। প্রমাণ-চাপে স্ফুটন সম্পন্ন হয় নাই বলিয়া এই নির্ধারিত জলীয় বাষ্পবিন্দুর উষ্ণতা সংশোধনের প্রয়োজন আছে।

উচ্চ নির্দিষ্ট-তাপাঙ্ক চিহ্নিতকরণ-পদ্ধতি।—এই কাজের জন্য হিপ্‌সোমিটার (hypsometer) নামে একটি বিশেষ ধরণের বয়লার (boiler) ব্যবহার করা হইয়া থাকে (চিত্র ৩)। ইহা একটি তামার পাত্র। ইহার নিম্নাংশে একটি প্রকোষ্ঠ (D) আছে যাহাতে খানিকটা অবধি জল রাখা হয়। উপরের অংশটি হইল জলীয় বাষ্পের

আধার—ইহা দ্বিকক্ষবিশিষ্ট একটি চোঙ। ভিতরের কক্ষের (B) মধ্য দিয়া জলীয় বাষ্প ঊর্ধ্বে উত্থিত হয় এবং ছড়াইয়া পড়িয়া একটি অন্তর্বর্তী দেওয়াল ডিঙাইয়া বাহিরের কক্ষ Aতে প্রবেশ করে। Aর মধ্য দিয়া নীচে নামিয়া জলীয় বাষ্প E-মুখ দিয়া বায়ুমণ্ডলে নির্গত হয়। তাই A হইল একটি জলীয় বাষ্প বেষ্টনী বা স্টীম জ্যাকেট (steam jacket)। জ্যাকেটটি থাকার জন্য Bর অন্তর্গত জলীয় বাষ্প শুষ্ক থাকে, সহজে তরলীভূত হয় না। বাষ্পের চাপ মাপার জন্য একটি ম্যানোমিটার (M) ব্যবহার করা হয়। ইহা প্রকৃতপক্ষে একটি আংশিক পারদপূর্ণ U-আকৃতির নল। ইহার একপ্রান্ত বাষ্পাধারের ভিতরের প্রকোষ্ঠের (B) সহিত যুক্ত এবং উহা জলীয় বাষ্পের চাপ নির্দেশ করে। বয়লার Dর নীচে একটি গ্যাস বারনার বসাইয়া



চিত্র ৩

উহাতে তাপ দিলে জল ফুটিতে থাকে। বারনারটির শিখা এমনভাবে নিয়ন্ত্রিত করা হয় যাহাতে ঐ তাপে উৎপন্ন বাষ্পের চাপে ম্যানোমিটার Mএর পারদপৃষ্ঠ অন্য বাহুটির পারদপৃষ্ঠের সমান সমান উচ্চতায় থাকে। তাহা হইলে হিপ্‌সোমিটারের বাষ্পচাপ বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান হয়। ভিতরের কক্ষ বরাবর উপরে হিপ্‌সোমিটারের শীর্ষে একটি খোলা মুখ (C) আছে। মুখটি একটি কর্কের ছিপি দ্বারা বন্ধ করিয়া রাখা হয়। এই কর্কের ছিপিটির মধ্যে একটি ছিদ্র করিয়া ঐ ছিদ্রের মধ্য দিয়া থার্মোমিটারটিকে (T) ভিতরের বাষ্পকক্ষের মধ্যে খাড়াভাবে ধরিয়া রাখার ব্যবস্থা করা হয়। থার্মোমিটারের শীর্ষের সামান্য অংশ ছিপির উপরে থাকে এবং বাল্‌বটি থাকে বয়লার Dর জলপৃষ্ঠের কিছু উপরে। থার্মোমিটারটি ছিপির ছিদ্রের মধ্যে আঁটোসাঁটোভাবে বসাইতে হয়।

বাষ্পের উষ্ণতা যতই বাড়িতে থাকে থার্মোমিটারের পারার আয়তনবৃদ্ধিহেতু পারদসূত্র ততই উচ্চে উঠিতে থাকে। শেষ পর্যন্ত থার্মোমিটারটি জলীয় বাষ্পের উষ্ণতা (বায়ুমণ্ডলের চাপ অনুযায়ী) প্রাপ্ত হয় ও পারদসূত্র এক উচ্চতম অবস্থানে উঠিয়া স্থির হইয়া দাঁড়ায়। পারদসূত্রের শেষ উচ্চতা বরাবর কাঁচের গাত্রের উপর একটি দাগ (X) দেওয়া হয়।

ইহা কিন্তু প্রকৃত জলীয় বাষ্পবিন্দু নয়। প্রকৃত জলীয় বাষ্পবিন্দু বাহির করিতে হইলে **স্বাভাবিক চাপ অপেক্ষা বর্তমান চাপ কতটুকু কম বা বেশি তাহার জন্য যে সংশোধন প্রয়োজন** তাহা নির্ণয় করিতে হয়; কারণ, বায়ুমণ্ডলের চাপ বিভিন্ন হইলে জলীয় বাষ্পের তাপাঙ্ক বিভিন্ন হয়। তাই এই পরীক্ষা-কালে বায়ুমণ্ডলের চাপ সঠিকভাবে জানা দরকার হয়। ইহা করা হয় একটি ব্যারোমিটারের সাহায্যে। কোন্ চাপে সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পের তাপমাত্রা কত হয় তাহা জলীয়-বাষ্প-চার্ট নামে এক প্রকারের চার্ট আছে তাহা হইতে জানিয়া লওয়া যায়। সেন্টিগ্রেড উষ্ণমিতি অনুযায়ী বায়ুমণ্ডলের স্বাভাবিক চাপে শুষ্ক জলীয় বাষ্পের তাপমাত্রা 100° ডিগ্রী। চাপ পারদের 27 মি.মি. বদলাইলে জলীয় বাষ্পের উষ্ণতা 1° সেন্টিগ্রেড বদলায়। চাপ বাড়িলে উষ্ণতা বাড়ে, চাপ কমিলে উষ্ণতা কমে বায়ুমণ্ডলের স্বাভাবিক চাপ পারদের 760 মি.মি.। চাপ ইহা হইতে স্বল্প বদলাইলে উপরোক্ত হিসাব প্রয়োগ করিয়া জলীয় বাষ্পের উষ্ণতা নির্ণয় করা যায়।

মনে কর যে, হিপ্‌সোমিটারের সাহায্যে জলীয় বাষ্পবিন্দুর দাগ (X) দেওয়ার সময় বায়ুমণ্ডলের যে চাপ ছিল সেই চাপে জলীয় বাষ্পের উষ্ণতা (চার্ট হইতে প্রাপ্ত) হইল 99·5° সেন্টিগ্রেড এবং নিম্ন নির্দিষ্ট বিন্দু Y হইতে পর্যবেক্ষিত ঐ উচ্চ নির্দিষ্ট বিন্দু X-এর দূরত্ব = 15 সেন্টিমিটার। ঐ উচ্চ নির্দিষ্ট বিন্দুর প্রকৃত দূরত্ব S হইলে,

$$\frac{15}{S}=\frac{95{\cdot}5}{100}\ ;\ \text{বা, } S=\frac{15\times100}{95{\cdot}5}=15{\cdot}706 \text{ সেন্টিমিটার।}$$

মনে রাখিবে যে, থার্মোমিটারের বাল্‌ব হিপ্‌সোমিটারের জলের মধ্যে প্রবেশ করাইবে না, উহা জলীয় বাষ্পের মধ্যে থাকিবে। ইহার কারণ এই যে, নির্দিষ্ট চাপে জলীয় বাষ্পের উষ্ণতা নির্দিষ্ট থাকে বটে কিন্তু অবিশুদ্ধ জলের এরূপ হয় না। জলের মধ্যে নানা রকমের ময়লা থাকিতে পারে। ফলে ফুটন্ত জলের উষ্ণতা নির্দিষ্ট করিয়া বলা যায় না। কেবলমাত্র বিশুদ্ধ এবং বায়ুশূন্য ফুটন্ত জলের উষ্ণতা উহা হইতে উত্থিত জলীয় বাষ্পের উষ্ণতার সমান হয়।

উচ্চ ও নিম্ন নির্দিষ্ট বিন্দু নির্ণীত হইয়া গেলে ঐ দুই বিন্দুর আন্তঃদূরত্বকে (এই দূরত্বকে 'প্রাথমিক অন্তর' বা 'Fundamental Interval' বা F. I. বলা হয়) কতগুলি সমান ভাগে বিভক্ত করা হয়। কত ভাগে বিভক্ত করিতে হইবে তাহা উষ্ণতার কোন্ স্কেল নির্বাচন করা হইল তাহার উপর নির্ভর করিবে। ইহার এক এক ভাগকে এক এক

ডিগ্রী (°) বলা হয়। প্রত্যেক ডিগ্রীকে আবার প্রয়োজন অনুযায়ী আরও ক্ষুদ্রাংশে বিভক্ত করা যায়। কতগুলি বিষয়ের সত্যতা ধরিয়া লইয়া (assumptions) এই দাগ দিবার কাজ (graduation) নিষ্পন্ন করা হয়, যথা—

(১) নলটির প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল বরাবর সমান;

(২) উষ্ণতা সমান সমান বৃদ্ধি পাইলে তরল পদার্থ টির (পারা'র) সমান সমান আয়তনবৃদ্ধি ঘটে।

৮ (ক)। থার্মোমিটারের নলের প্রস্থচ্ছেদ সর্বত্র সমান রাখা প্রয়োজন কি ? প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল নলের বিভিন্ন স্থানে অসমান হইলে সমান সমান উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য স্কেলের সকল অংশে পারদসূত্রের সমান সমান উচ্চতা বৃদ্ধি ঘটিবে না। অতএব দাগ দিবার সময় স্কেলের বিভিন্ন অংশে 1° ঘরের দৈর্ঘ্য ভিন্ন ভিন্ন করিতে হইবে। এইরূপ করিতে অনেক সময় ও ধৈর্য দরকার, খরচও অনেক বেশি পড়ে। সাধারণ থার্মোমিটারের ক্ষেত্রে এইভাবে খরচ বাড়ান ব্যবসায়ে লাভজনক বা সুবিধাজনক হয় না। এইসব কারণে কার্যতঃ সমপ্রস্থচ্ছেদবিশিষ্ট নলই নির্বাচন করিয়া লইয়া সাধারণ থার্মোমিটার তৈয়ারি করা হয় এবং সমান সমান ঘরে স্কেল ভাগ করা হয়।

৯। থার্মোমিটারের পাঠে কতকগুলি সাধারণ ভুলের বিষয় :—

(ক) **নলের প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফলের অসমতার দরুণ ভুল।**—নলের বিভিন্ন অংশে ক্ষেত্রফলের সামান্য অসমতা অনিবার্য। এইজন্য সমান অংশে বিভক্ত হওয়ার দরুণ স্কেলের পাঠ হইতে লব্ধ তাপমাত্রা একেবারে সঠিক হইতে পারে না। কোথায় ক্ষেত্রফল কত তাহার উপর কোথাকার তাপমাত্রার পাঠে কত ভুল হইবে তাহা নির্ভর করে।

(খ) **পারদসূত্রের কিয়দংশ তাপ-আধারের বাহিরে থাকার দরুণ ভুল।**—পারদসূত্র থার্মোমিটারের বাল্‌বের উর্ধ্বে নলের অনেকটা পর্যন্ত উঠিয়া থাকে বলিয়া বাল্‌ব কোন তাপ-আধারে যে উষ্ণতা লাভ করে (কোন বস্তুর নির্ণেয় উষ্ণতা) পারদ-সূত্রের ঐ বহিরাংশ তাহা অপেক্ষা নিম্ন উষ্ণতায় থাকে। ফলে থার্মোমিটার-কর্তৃক সূচিত উষ্ণতা সর্বদাই প্রকৃত নির্ণেয় উষ্ণতা হইতে কম হয়।

(গ) **স্কেলের শূন্যাঙ্কের পরিবর্তন।**—থার্মোমিটারের আধারটি পাকাইয়া লওয়ার কাজে ত্রুটি থাকিলে উহার আয়তন পরিবর্তনের জন্য থার্মোমিটারের নির্দিষ্ট দাগদুইটি ধীরে ধীরে স্থান পরিবর্তন করিতে পারে। স্পষ্টতঃই তাহা হইলে, স্কেলের পাঠে বিভিন্ন সময়ে বিভিন্ন প্রকারের কিছু ভুল থাকিবে।

১০। **উষ্ণমিতির বিভিন্ন রকমের স্কেল** (The different scales of temperature):—

(১) বৈজ্ঞানিক মাপজোকের ক্ষেত্রে উষ্ণতা পরিমাপে পৃথিবীর সর্বত্র সেন্টিগ্রেড স্কেল (centigrade scale) ব্যবহৃত হয়। আঁদ্রে সেল্‌সিয়াস্ (1701—1744) নামক একজন সুইডিস্ বিজ্ঞানী এই স্কেল প্রথম প্রস্তাব করেন। এই স্কেলে হিমাঙ্ক (ice-point)কে 0° সেন্টিগ্রেড (বা 0°*C.*) এবং জলীয় বাষ্পাঙ্ককে (steam-point) 100° সেন্টিগ্রেড (বা 100°*C.*) বলা হয়। এই দুই নির্দিষ্ট তাপাঙ্কের অন্তরকে **প্রাথমিক অন্তর** (Fundamental Interval বা F. I.) বলে। এই স্কেলে প্রাথমিক অন্তরকে 100টি সমান ভাগে ভাগ করিয়া প্রত্যেক ভাগকে 1° সেন্টিগ্রেড (বা 1° *C.*) বা 1° ডিগ্রী সে. বলা হয়।

(২) ইংল্যাণ্ডে ও অন্যান্য ইংরাজী ভাষাভাষী দেশে ব্যবসা-বাণিজ্য, গার্হস্থ্য কর্ম ও ডাক্তারী কাজে ফারেনহাইট স্কেল (Fahrenheit Scale) নামে এক স্কেল ব্যবহৃত হয়। ফারেনহাইট ছিলেন (1686—1736) একজন জার্মান দার্শনিক। তাঁহারই নাম অনুযায়ী এই স্কেলের নাম হইয়াছে। এই স্কেলে হিমবিন্দুকে 32° ফারেনহাইট (বা 32° *F.*) ও জলীয় বাষ্পবিন্দুকে 212° ফারেনহাইট (212°*F.*) বলা হয়। এই দুই নির্দিষ্ট তাপাঙ্কের অন্তবর্তী প্রাথমিক অন্তরকে 180টি সমান ভাগে ভাগ করিয়া প্রত্যেক ভাগকে 1° ফারেনহাইট (1°*F.*) বা 1° ডিগ্রী ফা. বলা হয়।

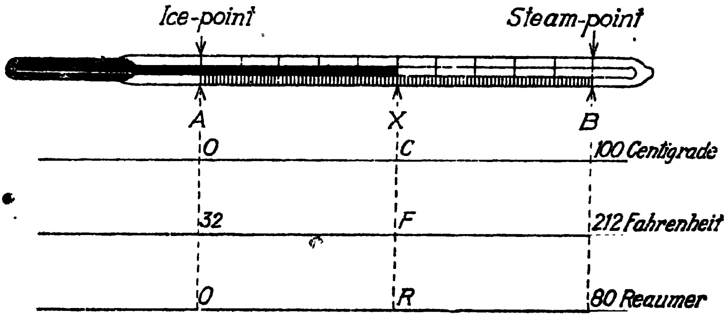
(৩) য়ুরোপের মূল ভূভাগের কোন কোন দেশে বিশেষ করিয়া রুশ দেশে রেমার স্কেল (Reaumur Scale)-এর প্রচলন ছিল। ফরাসী দার্শনিক রেমার (1683—1757)এর নাম অনুযায়ী এই স্কেলের নাম হইয়াছে। এই স্কেলে হিমবিন্দুকে 0° রেমার (বা 0°*R.*) বা 0° রে. এবং জলীয় বাষ্পবিন্দুকে 80° রেমার (80°*R.*) বা 80° ডিগ্রী রে. বলা হয়। এই দুই নির্দিষ্ট তাপাঙ্কের অন্তর্বর্তী অন্তরকে 80টি সমান ভাগে ভাগ করিয়া প্রত্যেক ভাগকে 1° রেমার (1°*R.*) বা 1° ডিগ্রী রে. বলা হয়।

তিনটি উষ্ণতা স্কেলের বৈশিষ্ট্যসমূহের তালিকা

স্কেল	প্রতীক-চিহ্ন	হিমবিন্দু	জলীয় বাষ্পবিন্দু	ভাগের বা ডিগ্রীর সংখ্যা
সেন্টিগ্রেড	সে.	0	100	100
ফারেনহাইট	ফা.	32	212	180
রেমার	রে.	0	80	80

১১। তিনটি উষ্ণতা স্কেলের পারস্পরিক সম্পর্ক :—

(১) প্রাথমিক অন্তরকে (হিমবিন্দু ও জলীয় বাষ্পবিন্দুর অন্তর) সেন্টিগ্রেড স্কেলে 100, ফারেনহাইট স্কেলে 180 ও রেমার স্কেলে 80টি সমান ভাগে বিভক্ত করা হয়। সুতরাং, 100° ডিগ্রী সে. = 180° ডিগ্রী ফা. = 80° ডিগ্রী রে.। সুতরাং 1° ডিগ্রী সে. = 1° ডিগ্রী ফা.এর $\frac{9}{5}$ = 1° ডিগ্রী রে.এর $\frac{4}{5}$; বা, 1° সে. = $(\frac{9}{5})^{\circ}$ ফা. = $\left(\frac{4}{5}\right)^{\circ}$ রে.।



চিত্র ৪

(১) মনে কর, একটি সেন্টিগ্রেড, একটি ফারেনহাইট ও একটি রেমার থার্মোমিটার লইয়া তিনটিকেই কোন একটি অজানা উষ্ণতা মাপার কাজে নিযুক্ত করা হইল। চিত্র ৪এ এই তিনটি স্কেল তিনটি সরলরেখা দ্বারা সূচিত হইয়াছে। এই রেখাগুলির উপরে হিমবিন্দু (A) ও জলীয় বাষ্পবিন্দু (B) চিহ্নিত একটি থার্মোমিটার দেখান হইয়াছে। প্রত্যেক স্কেলেই ঐ অজানা উষ্ণতার জন্য থার্মোমিটারের প্রসারিত পারদসূত্রের দৈর্ঘ্য একই হইবে এবং মনে কর এই দৈর্ঘ্যের শীর্ষ X দ্বারা চিহ্নিত হইল। তাহা হইলে প্রত্যেক স্কেলেই AX/AB অনুপাত ধ্রুব হইবে নির্ণেয় উষ্ণতা

$$\frac{AX}{AB}=\frac{C-0}{100}=\frac{F-32}{180}=\frac{R-0}{80}\;;\text{ বা } \frac{C}{5}=\frac{F-32}{9}=\frac{R}{4} \qquad \cdots \quad \cdots \quad (১)$$

১২। থার্মোমিটার পাঠের সংশোধন (Corrections for thermometer readings) :—

চাপ এক বায়ুমণ্ডল (one atmosphere) বৃদ্ধি পাইলে বিশুদ্ধ বরফের গলনাঙ্ক (melting point) 0·0073° সে. কমিয়া যায়। এই পরিবর্তন খুবই সামান্য বলিয়া পারদ থার্মোমিটারের নিম্ন নির্দিষ্ট তাপাঙ্ক নির্ণয় করিবার কালে তৎকালীন

বায়ুমণ্ডলীয় চাপ অনুযায়ী কোন সংশোধন করার দরকার হয় না। জলীয় বাষ্প-বিন্দু বা উচ্চ নির্দিষ্ট তাপাঙ্ক নির্ণয় করিবার কালে কিন্তু এই সংশোধন আবশ্যক। কেন-না, **বায়ুমণ্ডলের চাপ স্বাভাবিক চাপ হইতে পারদের 1 সে.মি. বাড়িলে/কমিলে জলীয় বাষ্পবিন্দুর উষ্ণতা 100° সে. হইতে 0·37° সে. বাড়িবে/কমিবে।** অন্যভাবে বলা যায় যে, উচ্চ নির্দিষ্ট বিন্দুতে 1° সে. পরিবর্তন আনিতে চাপ পারদের 27 মি.মি. বদলান প্রয়োজন। হিমবিন্দু ও জলীয় বাষ্পবিন্দুর মধ্যবর্তী কোন উষ্ণতার সংশোধন কেমন করিয়া করিতে হয় তাহা নিম্নলিখিত উদাহরণে বিবৃত হইল।

উদাহরণ।—পরীক্ষাকালীন বায়ুমণ্ডলীয় চাপের মান = 754·96 মি.মি.; হিমবিন্দুর পাঠ = +0·5° সে.; জলীয় বাষ্পবিন্দুর পাঠ = 99·6° সে.।

(১) বায়ুমণ্ডলের স্বাভাবিক চাপ ও পরীক্ষাকালীন চাপের পার্থক্য = 760 − 754·96 = 5·04 মি.মি.। চাপ 27 মি.মি. বদলাইলে জলীয় বাষ্পবিন্দু 1° সে. বদলায়। সুতরাং, নির্ণেয় সংশোধন $=\frac{5\cdot04}{27}=0\cdot186°$ সে.।

পরীক্ষাকালীন চাপ বায়ুমণ্ডলের স্বাভাবিক চাপ অপেক্ষা কম বলিয়া জলীয় বাষ্পবিন্দু 100° সে. অপেক্ষা কম হইবে। সুতরাং, প্রকৃত জলীয় বাষ্পবিন্দু = 100 − 0·186 = 99·814° সে.।

∴ জলীয় বাষ্পবিন্দুর ভুল = (পর্যবেক্ষিত জলীয় বাষ্পবিন্দু) − (প্রকৃত জলীয় বাষ্পবিন্দু) = (99·6 − 99·814)° সে. = −0·214° সে.।

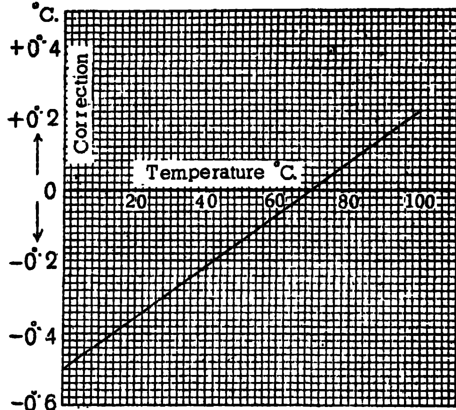
∴ জলীয় বাষ্পবিন্দুর সংশোধন = +0·214° সে. [পরিলক্ষিত জলীয় বাষ্পবিন্দু 99·6° সে.-তে.]।

(২) চাপ পরিবর্তনের জন্য হিমবিন্দুর কোন সংশোধন করিবার প্রয়োজন নাই।
∴ হিমবিন্দুর ভুল = প্রাপ্ত হিমবিন্দু − প্রকৃত হিমবিন্দু = 0·5° সে. − 0° সে. = +0·5° সে.।
তাহা হইলে, হিমবিন্দুর সংশোধন = −0·5° সে.।

এখন একখানি বর্গাঙ্কিত কাগজ লও (চিত্র ৫)। ইহার মাঝামাঝি মোটা করিয়া একটি কালো সরলরেখা টান। ইহাকে উষ্ণতা-নির্দেশক অক্ষ বলে। 0° সে. হইতে 100° সে. পর্যন্ত ইহাতে দেখান আছে। কাগজখানির বাম প্রান্তে খাড়া

উপরে-নীচে সংশোধন-নির্দেশক অক্ষটি দেখান হইয়াছে। ধন-সংশোধন উষ্ণতা-অক্ষের উপরে ও ঋণ-সংশোধন উষ্ণতা অক্ষের নীচে থাকিবে।

এবার প্রাপ্ত জলীয় বাষ্প-বিন্দুতে উহার সংশোধন এবং হিমবিন্দুতে উহার সংশোধন ঐ অক্ষদুইটির সাহায্যে বর্গাঙ্কিত কাগজটির উপরে দুইটি বিন্দু দ্বারা চিহ্নিত কর। বিন্দুদুইটি একটি সরলরেখার দ্বারা যোগ করিলে চিত্রে প্রদর্শিত সরলরেখাটি পাইবে। এই সরলরেখার সাহায্যে 0.5° সে. ও 99.6° সে. এর অন্তর্বর্তী যে-কোন উষ্ণতায় সংশোধন কত হইবে তাহা বাহির করা যাইবে। অবশ্য ধরিয়া লইতে হইবে যে, থার্মোমিটারের টিউবের সরু নালি সমপ্রস্থচ্ছেদবিশিষ্ট এবং থার্মোমিটারের অংকিত স্কেলের ভাগগুলি সবই সমান। চিত্র ৫এ প্রদত্ত লেখটি ভাল করিয়া লক্ষ্য করিলে দেখিতে পাইবে যে, এই ক্ষেত্রে 70° সেন্টিগ্রেড উষ্ণতায় থার্মোমিটারটির পাঠের কোন সংশোধন প্রয়োজন হইবে না।



চিত্র ৫

Examples

1. *The normal temperature of a healthy person is found to be 98.4° F. What would be the corresponding readings on the centigrade and the Reaumur scales ?*

উত্তর : মনে কর, নির্ণেয় উষ্ণতার মান সেন্টিগ্রেড স্কেলে C. এবং রেমার স্কেলে R ;

তাহা হইলে, $\frac{98.4-32}{9}=\frac{C}{5}=\frac{R}{4}$: $C=36.9°$ এবং $R=29.5°$ ।

2. *The freezing point on a thermometer is marked 20 and the boiling point 150. What reading would this thermometer give for a temperature of 45° C. ?*

উত্তর : মনে কর, নির্ণেয় পাঠ$=N°$। প্রদত্ত থার্মোমিটারের প্রাথমিক অন্তর (F.I.)$=150-20=130$ ধর। $\therefore \frac{N-20}{130}=\frac{45-0}{100}$; অথবা, $N=78.5°$ ।

3. A thermometer A has got its F.I. divided into 45 equal parts and another B into 100. If the lower point of A is marked 0 and that of B 50, what is the temperature by A when it is 110 by B?

উত্তর ঃ প্রদত্ত সত্তানুসারে, $\frac{N_A-0}{45}=\frac{N_B-50}{100}$ । এখানে, $N_B=110$;

সুতরাং $\frac{N_A-0}{45}=\frac{110-50}{100}$ ।

∴ A থার্মোমিটারের নির্দেশ পাঠ, $N_A=\frac{110-50}{100}\times 45=\frac{60\times 45}{100}=27°$.

4. Calculate the temperature which has got the same reading on both the Centigrade and the Fahrenheit scales?

উত্তর ঃ মনে কর, $N°$ হইল নির্দেশ উষ্ণতা।

তাহা হইলে, $\frac{N-0}{5}=\frac{N-32}{9}$; অথবা, $5N-160=9N$; অথবা, $4N=-160$; অর্থাৎ, $N=-40$; ইহার অর্থ এই যে, নির্দেশ উষ্ণতা $=-40°$ সে. $=-40°$ ফা.।

5. Two thermometers A and B are made of the same kind of glass and contain the same liquid. The bulbs of both the thermometers are spherical. The internal diameter of A is 7·5 mm. and the radius of cross-section of the tube is 1·25 mm., the corresponding figures for B being 6·2 mm. and 0·9 mm. Compare the length of a degree of A with that of B.

উত্তর ঃ মনে কর যে, 1° উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য Aর তরল পদার্থের দৈর্ঘ্য বাড়ে l_1 এবং Bর বাড়ে l_2। তরল পদার্থের আপাত আয়তন প্রসারণ-গুণাঙ্ক মনে কর, γ।

1° সে. উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য A বালবের মধ্যস্থ তরল পদার্থের আয়তনবৃদ্ধির পরিমাণ $=\frac{4\pi}{3}\left(\frac{7\cdot5}{2}\right)^3\times\gamma\times1$; আয়তনবৃদ্ধির জন্য নলের মধ্যে তরল পদার্থের সূত্রের দৈর্ঘ্য বাড়িবে l_1।

∴ $\frac{4\pi}{3}\left(\frac{7\cdot5}{2}\right)^3\times\gamma\times1=\pi\left(1\cdot25\right)^2 l_1$ । B-বালবের জন্য অনুরূপ সম্পর্কটি হইবে,

$\frac{4\pi}{3}\left(\frac{6\cdot2}{2}\right)^3\times\gamma\times1=\pi(0\cdot9)^2 l_2$ । ∴ $\frac{l_1(1\cdot25)^2}{l_2(0\cdot9)^2}=\frac{(7\cdot5)^3}{(6\cdot2)^3}$; অথবা, $\frac{l_1}{l_2}=\frac{1\cdot00}{1\cdot09}$ ।

6. When the fixed points of a centigrade thermometer are verified, the thermometer reads 0·5° C. at the melting point of ice and 99·2° C. at the boiling point of water at nomal pressure. What is the correct temperature when it reads 15° and at what temperature is its reading exactly correct?

উত্তর : প্রাথমিক অন্তর $=99{\cdot}2-0{\cdot}5=98{\cdot}7$ ঘর। মনে কর যে, 15° পাঠের প্রকৃত মান t° সে.।

তাহা হইলে, $\frac{15-0{\cdot}5}{98{\cdot}7}=\frac{t}{100}$ $t=14{\cdot}7^\circ$ সে.।

মনে কর, x° সে.-তে এই থার্মোমিটারের পাঠে কোন সংশোধন প্রয়োজন হইবে না।

তাহা হইলে, $\frac{x-0{\cdot}5}{98{\cdot}7}=\frac{x}{100}$; অথবা, $x=38{\cdot}5^\circ$ সে.।

7. *If, when the temperature is 0°C., a mercury thermometer reads +0·5°C., while at 100°C., it reads 100·8° C., find the true temperature when the thermometer reads 20° C., assuming that the bore is cylindrical and the divisions are of uniform length.*

উত্তর : প্রাথমিক অন্তর $=100{\cdot}8-0{\cdot}5=100{\cdot}3$ ঘর। সুতরাং থার্মোমিটারটির প্রত্যেক ঘরের প্রকৃত মান $=\frac{100}{100{\cdot}3}$ (প্রকৃত) ডিগ্রী সে.। থার্মোমিটারটির পাঠ 20° সে.। তাহা হইলে এই পাঠ হিমবিন্দুর $(20-0{\cdot}5)$ বা $19{\cdot}5$ ঘর উপরে আছে। $\therefore$ উষ্ণতার প্রকৃত মান $=19{\cdot}5\times\frac{100}{100{\cdot}3}=19{\cdot}44^\circ$ সে.।

১৩। কাঁচের নলে তরল-ভরা থার্মোমিটারের কার্যনীতি :—যে বস্তুর উষ্ণতা নির্ণয় করিতে হইবে থার্মোমিটারের বাল্‌বটি তাহার সহিত সংস্পর্শে রাখিতে হইবে; বস্তুটির উষ্ণতা বেশি বলিয়া থার্মোমিটারের উষ্ণতাবৃদ্ধিহেতু উহার তরল পদার্থ প্রসারিত হইবে। বস্তুটির উষ্ণতা কম হইলে উষ্ণতাহ্রাসহেতু ঐ তরল পদার্থ সংকুচিত হইবে। উষ্ণতা কত কমিলে-বাড়িলে তরল পদার্থটির আয়তন কত কমিবে-বাড়িবে তাহা তরলের তাপজনিত প্রসারণধর্ম হইতে সুনির্দিষ্টভাবে জানা যায়। উষ্ণতার পরিবর্তনে আয়তনের পরিবর্তন তরলের একটি স্থায়ী ধর্ম, অর্থাৎ বার বার ইহার পুনরাবৃত্তি ঘটান যায়। অর্থাৎ কোন নির্দিষ্ট পরিমাণ তরল পদার্থ কোন নির্দিষ্ট উষ্ণতায় কতটা আয়তন অধিকার করিবে তাহা পূর্বেই নির্দিষ্ট করিয়া বলা যায়। অতএব কোন উষ্ণতায় তরল পদার্থটির আয়তন কত হইল তাহা দেখিয়া ঐ উষ্ণতা নির্দেশ করা যায়। ইহাই হইল কাঁচের নলে তরল-ভরা থার্মোমিটারের কার্যনীতি।

এই ধরণের থার্মোমিটার মাঝারি রকমের উষ্ণতা পরিমাপের কাজ ব্যবহার করা যায়। প্রকৃতপক্ষে তরলপদার্থ ব্যবহৃত থার্মোমিটার ঐ তরলের নিজ উষ্ণতাই সূচিত করে। এই

ক্ষেত্রে ধরিয়া লওয়া হয় যে, ব্যবহারকালে থার্মোমিটারের তরল পদার্থ পরীক্ষণীয় বস্তুর উষ্ণতা প্রাপ্ত হয় এবং বস্তুটির উষ্ণতা সূচিত করে। সাধারণ লোকের ব্যবহারের সুবিধার জন্য এই থার্মোমিটারের ঘরগুলি সব সমান হওয়া বাঞ্ছনীয়। তাই এমন একটি তরল পদার্থ নির্বাচন করিয়া লওয়া দরকার যাহাতে সমান সমান উষ্ণতাবৃদ্ধিতে উহার সমান সমান আয়তনবৃদ্ধি ঘটে। তরল আধারটির ধর্মও অনুরূপ হওয়া প্রয়োজন। নহিলে ঘরগুলি সমান হইবে না। সকল তরল পদার্থই থার্মোমিটারে ব্যবহৃত হইবার উপযোগী গুণাগুণের অধিকারী নয়। পারদ এবং কোহল সাধারণ থার্মোমিটারে ব্যবহৃত হইবার উপযুক্ত দুইটি তরল পদার্থ। ইহাদের ব্যবহারের নিজ নিজ কতগুলি সুবিধা আছে, আবার অসুবিধাও কিছু কিছু আছে।

১৩ (ক)। পারদ থার্মোমিটার ও কোহল থার্মোমিটারের সুবিধা-অসুবিধা :—

(ক) রং ও দৃষ্টিগোচরতা (colour and visibility).—পারদ রূপার মত উজ্জ্বল একপ্রকার খুব ভারি তরল পদার্থ। কাঁচের নলের মধ্যে ইহার উঠা-নামা সহজেই নজরে পড়ে। কোহলকে কোন রং দিয়া রঞ্জিত করিয়া না লইলে ইহা নজরে পড়া কঠিন।

(খ) পাল্লা (range).—পারদ 366° সে.তে ফুটিতে আরম্ভ করে এবং – 38·87° সে.তে জমে। পারদ থার্মোমিটার সাধারণতঃ 300° সে হইতে—30° সে. পর্যন্ত ব্যবহার করা হইয়া থাকে। এই পাল্লা যথেষ্ট দীর্ঘ। পারার উপরের শূন্য স্থান উচ্চ চাপের নাইট্রোজেন, হিলিয়াম, বা কার্বন ডাই-অক্সাইড দিয়া পূর্ণ করিয়া পারদ থার্মোমিটারকে 500° সে., এমন কি, 750° সে. পর্যন্ত ব্যবহার করা চলে। অবশ্য 500° সে. পর্যন্ত ব্যবহার করিতে হইলে উচ্চ গলনাঙ্কের বিশেষ ধরণের কাঁচ ব্যবহার করিতে হইবে। 750° সে. পর্যন্ত ব্যবহারের জন্যে সিলিকা (silica)-র আধার ব্যবহার করা যায়।

কোহল 78° সেন্টিগ্রেডে ফুটিয়া উঠে, –130° সেন্টিগ্রেডে জমে। কোহলের হিমাঙ্ক (freezing point) পারদের হিমাঙ্ক অপেক্ষা অনেক নিম্নে বলিয়া কোহল থার্মোমিটার অনেক বেশি নিম্ন উষ্ণতা (–128° সে.) পর্যন্ত ব্যবহার করা চলে। বেশি উষ্ণতার দিকে কোহল থার্মোমিটারের কার্যসীমা বড় কম (60° সে. পর্যন্ত)।

(গ) তাপ-স্পর্শবিচলিতা (thermal sensitivity).—উষ্ণতাবৃদ্ধিতে পারদ অপেক্ষা কোহল অনেক বেশি প্রসারিত হয়। এইজন্য কোহল থার্মোমিটার পারদ থার্মোমিটার অপেক্ষা অনেক বেশি তাপস্পর্শবিচল।

(ঘ) তাপশোষণ—পারদ কোহল অপেক্ষা অনেক বেশি ভারি। কিন্তু পারদের আপেক্ষিক তাপ (specific heat) কোহলের আপেক্ষিক তাপ অপেক্ষা অনেক কম। উভয়ের আয়তন সমান ধরিয়া লইয়া এই দুই গুণের বিচার করিলে দেখা যায় যে, একই উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য পারদ কোহল অপেক্ষা অধিক তাপ শোষণ করে। তাই থার্মোমিটারের বাল্‌ব কোন বস্তুর সংস্পর্শে রাখিলে পারদ থার্মোমিটার কোহল থার্মোমিটার অপেক্ষা অধিক তাপ বস্তুটি হইতে শোষণ করিবে।

(ঙ) প্রসারণের সমতা (uniformity of expansion).—বিভিন্ন উষ্ণতায় পারদের তাপজনিত প্রসারণে সন্তোষজনক সমতা আছে, অর্থাৎ উষ্ণতার ভিন্ন ভিন্ন পাল্লায় সমান সমান উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য পারদের আয়তন সমান সমান বৃদ্ধি পায়। এই গুণের জন্যই থার্মোমিটার নির্মাণে পারা এত ব্যাপকভাবে ব্যবহৃত হয়।

কোহলের প্রসারণে ঐরূপ সমতা নাই। উচ্চ উষ্ণতায় কোহল অপেক্ষাকৃত অধিক পরিমাণে প্রসারিত হয়। অর্থাৎ কোহল থার্মোমিটারের উচ্চ ও নিম্ন নির্দিষ্ট তাপাঙ্কের মধ্যবর্তী প্রাথমিক অন্তরকে কয়েকটি সমান ভাগে ভাগ করিয়া প্রত্যেক ভাগ দ্বারা সমান উষ্ণতাবৃদ্ধি সূচিত করা চলে না। এইজন্য কোহল থার্মোমিটারকে পারদ থার্মোমিটারের সহিত তুলনা করিয়া [উভয় থার্মোমিটার একই তাপগাহে (bath) রাখিয়া] অংশাংকিত (calibrate) করা হয়।

(চ) ক্রিয়ার দ্রুততা (quickness of response).—যে থার্মোমিটার যত তাড়াতাড়ি পরীক্ষাধীন বস্তুর উষ্ণতা প্রাপ্ত হয় তাহার ক্রিয়ার দ্রুততা তত বেশি। এই দ্রুততা থার্মোমিটারের অভ্যন্তরস্থ তরল পদার্থের তাপ-পরিবাহিতা (thermal conductivity)র ও তাপধারণ-ক্ষমতা বা তাপগ্রাহিতা (thermal capacity)র উপর নির্ভর করে। তাপ-পরিবাহক হিসাবে পারদ কোহল অপেক্ষা উৎকৃষ্টতর, কিন্তু আপেক্ষিক তাপ ও তাপধারণ-ক্ষমতা কোহলের বেশি (সম আয়তনের বেলা)। মোটের উপর পারদের থার্মোমিটারই অপেক্ষাকৃত বেশি দ্রুত পরীক্ষাধীন বস্তুর উষ্ণতা সূচিত করিতে পারে।

(ছ) বাষ্পীয় চাপ.—কোহল সহজেই বাষ্পে পরিণত হয়। ফলে, কোহল-ব্যবহৃত থার্মোমিটারের তরল শীর্ষে প্রচুর পরিমাণ বাষ্প জমা হইয়া উহা কোহলের উপর বেশ চাপ দেয় এবং উষ্ণতামাপক কোহলসূত্রের দৈর্ঘ্য হ্রাস করে। পক্ষান্তরে, পারদ-বাষ্পের চাপ সাধারণ উষ্ণতায় প্রায় নগণ্য।

(জ) কাঁচের গাত্র সিক্ত করা.—কোহল কাঁচের গাত্রকে সিক্ত (wetting)

করে। পারদ তাহা করে না। ফলে উষ্ণতাবৃদ্ধিতে কোহল কাঁচের নলের গাত্র বাহিয়া মসৃণভাবে উঠে, পারদ ওঠে খানিকটা ঝাঁকি দিয়া দিয়া।

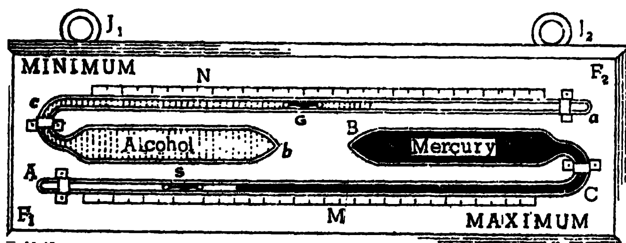
উষ্ণতা কমিলে কোহল কাঁচের গাত্র বাহিয়া নামিয়া আসিলে ইহার একটি প্রলেপ নলের গাত্রে লাগিয়া থাকে। ফলে, উষ্ণতার পাঠ কম হয়। পারদের ক্ষেত্রে তরলসূত্রের পাঠে এইরূপ ত্রুটি ঘটে না।

১৪। বিভিন্ন রকমের পারদ ও কোহল থার্মোমিটার :—

(ক) সর্বোচ্চ এবং সর্বনিম্ন উষ্ণতাজ্ঞাপক থার্মোমিটার।—কোন সময়-কালে উষ্ণতার সর্বোচ্চ ও সর্বনিম্ন মান স্বয়ংক্রিয় পদ্ধতিতে নির্ণয় করিবার জন্য এইরূপ থার্মোমিটার ব্যবহৃত হয়। আবহাওয়া জানার জন্য ও কৃষিকার্যের নানা প্রয়োজনে এইরূপভাবে সর্বোচ্চ ও সর্বনিম্ন উষ্ণতা নির্ধারণ করা প্রয়োজন হয়। আজকাল প্রায় সব দেশেই আবহাওয়া দপ্তর হইতে জনসাধারণের সুবিধার্থে আবহাওয়ার প্রাত্যহিক সর্বোচ্চ ও সর্বনিম্ন উষ্ণতার বিবরণী প্রকাশ করার ব্যবস্থা আছে।

(১) রাদারফোর্ডের সর্বোচ্চ ও সর্বনিম্ন উষ্ণতাজ্ঞাপক থার্মোমিটার।—এই থার্মোমিটারে একটি খাড়া কাঠের বোর্ডের পৃষ্ঠে দুইটি স্বতন্ত্র স্বয়ংক্রিয় থার্মোমিটার অনুভূমিকভাবে বসান থাকে। তন্মধ্যে একটি সর্বোচ্চ উষ্ণতা নির্ণয় করে, অন্যটি নির্ণয় করে সর্বনিম্ন উষ্ণতা। চিত্র ৬এ $F_1 F_2$ হইল কাঠের একটি খাড়া বোর্ড। ইহা দুইটি রিং (J_1, J_2)এর সাহায্যে দেওয়ালের পৃষ্ঠে ঝুলান হয়।

চিত্রের নিম্ন ভাগের থার্মোমিটার ACB হইল সর্বোচ্চ উষ্ণতাজ্ঞাপক একটি পারদ



চিত্র ৬

থার্মোমিটার। B উহার বাল্ব এবং AC উহার নল। এই নলের মধ্যে পারদের মাথায় ডাম্বেল-আকৃতি একটি ভেলা (S) সূচক হিসাবে কাজ করে। ইহা লোহার তৈয়ারি। ইহার সহিত একটি স্প্রিং খাটান আছে। ঐ স্প্রিং সূচকটিকে নলের গাত্রে

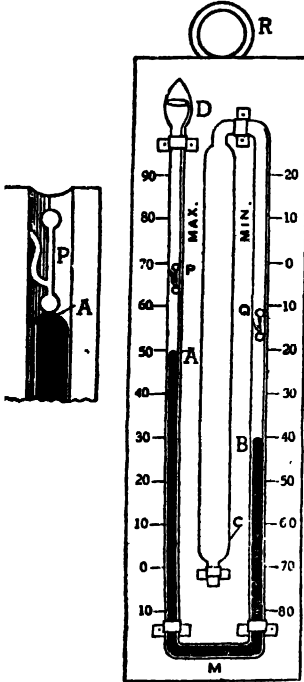
চাপিয়া ধরিয়া রাখে। প্রথমতঃ বাহির হইতে একখানি শক্তিশালী চুম্বকের সাহায্যে সূচকটিকে টানিয়া আনিয়া উহার নিকটবর্তী প্রান্ত পারদপৃষ্ঠকে স্পর্শ করাইয়া রাখা হয়। উষ্ণতা বাড়িলে পারদসূত্র প্রসারিত হয় এবং পারদের উত্তল পৃষ্ঠ সূচকটিকে ঠেলিয়া সম্মুখদিকে লইয়া যায়। উষ্ণতা কমিলে পারদসূত্র পিছু হটিয়া আসে, কিন্তু সূচকটি উহার দূরতম অবস্থানেই থাকিয়া যায় এবং সর্বোচ্চ উষ্ণতা সূচিত করে। সূচকটির পারদের দিকের প্রান্ত স্কেল M অনুযায়ী যে উষ্ণতা সূচিত করে তাহা হইল পরীক্ষার সময়কালে আবহাওয়ার সর্বোচ্চ উষ্ণতা।

acb একটি সর্বনিম্ন উষ্ণতা-জ্ঞাপক কোহল থার্মোমিটার। b ইহার বাল্‌ব এবং নল হইল ac। এই নলের মধ্যে রঙীন কাঁচের তৈয়ারি একটি সূচক (G) আছে। ইহাও স্প্রিং দ্বারা নলের গাত্রের সহিত লাগিয়া থাকে।

প্রথমে যন্ত্রটিকে হেলাইয়া সূচকটি এমনভাবে কোহলসূত্রের মধ্যে ডুবাইয়া রাখা হয় যাহাতে ইহার উপরের প্রান্ত ঠিক ঠিক কোহলপৃষ্ঠের সঙ্গে এক থাকে। আবহাওয়ার উষ্ণতা কমিতে থাকিলে কোহল সঙ্কুচিত হয় এবং কাঁচের সূচকটি কোহলের অবতলপৃষ্ঠের চাপে ভিতরের দিকে (অর্থাৎ বাল্‌বের দিকে) সরিতে থাকে। কিন্তু আবহাওয়ার উষ্ণতা বাড়িলে কোহল কাঁচের সূচকটিকে উহার নিম্নতম অবস্থানে ফেলিয়া রাখিয়া উপরের দিকে প্রসারিত হয়, অর্থাৎ এই সময় সূচকটি উপরের দিকে উঠিতে পারে না। সূচকটির বহিঃপ্রান্ত স্কেল N অনুযায়ী এক সর্বনিম্ন উষ্ণতা সূচিত করে।

(২) সিক্স-এর সর্বোচ্চ ও সর্বনিম্ন উষ্ণতাজ্ঞাপক থার্মোমিটার (Six's maximum and minimum thermometer).—এই থার্মোমিটার, কোন নির্দিষ্ট সময়কালে, আবহাওয়ার সর্বনিম্ন ও সর্বোচ্চ উষ্ণতা কত কত হয় তাহা স্বয়ংক্রিয় পদ্ধতিতে সূচিত করার জন্য ব্যবহৃত হয়। চিত্র ৭এ সিক্স-এর থার্মোমিটারের এক নমুনা দেখান হইয়াছে। ইহাতে M হইল একটি U-আকৃতির নল। ইহার এক বাহু বাঁকিয়া আসিয়া C বাল্‌বে শেষ হইয়াছে। Cই হইল প্রকৃত থার্মোমিটার বাল্‌ব। নলের অন্য বাহু একেবারে খাড়া এবং ইহার শেষ প্রান্তে ছোট একটি বাল্‌ব (D) আছে। একটি কাঠের ফ্রেমের উপর শায়িত অবস্থায় দৃঢ়ভাবে আটকাইয়া ইহার ফ্রেমটি একটি আংটার (R) সাহায্যে দেওয়ালে ঝুলাইয়া রাখা হয়। বাল্‌ব C এবং উহার সহিত যুক্ত নলের কিয়দংশ কোহলে পূর্ণ থাকে। ইহার পরের U-অংশ (BMA) পারদপূর্ণ। পারদসূত্রের A-পৃষ্ঠের উপরের নলটি D-বাল্‌বের কিয়দংশ

পর্যন্ত কোহলে পূর্ণ থাকে এবং বাল্‌বের অবশিষ্ট অংশে থাকে কোহল বাষ্প। এই অংশ খালি থাকায় ইহাতে কোহল প্রসারিত হইয়া উঠিতে পারে। উষ্ণতা পরিবর্তিত হইলে U-পারদসূত্রের এক বাহু উপরে উঠে, অন্য বাহু নীচে নামে এবং উহাদের পারদ-পৃষ্ঠ উষ্ণতা-নির্দেশকের কাজ করে। P ও Q ডাম্বেল-আকৃতির দুইটি লোহার সূচক। ইহারা পারদসূত্রের দুই পৃষ্ঠের উপর ভাসন্ত থাকে। ইহারা প্রত্যেকেই স্প্রিংযুক্ত। ঐ স্প্রিংয়ের চাপে ইহারা নলের গাত্রে লাগিয়া থাকে। প্রতিবার কার্যারম্ভের সময়ে বাহির হইতে একটি চুম্বকের সাহায্যে প্রত্যেক সূচকেরই নিকটবর্তী প্রান্তকে পারদ-পৃষ্ঠ স্পর্শ করাইয়া রাখা হয়। দুই দিকের নলের খাড়া অংশের পাশে উষ্ণতা-স্কেল অংকিত করা হয়।



চিত্র ৭—সিক্সের থার্মোমিটার

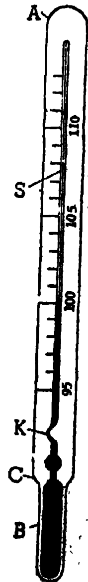
কার্যপ্রণালী।—উষ্ণতাবৃদ্ধি ঘটিলে ডান দিকের কোহলের আয়তন বেশি বলিয়া বাম দিকের কোহল অপেক্ষা উহা অনেক বেশি প্রসারিত হয়। ফলে পারদসূত্রের B প্রান্ত নীচে নামে এবং A-প্রান্ত সূচক Pকে ঠেলিয়া উপরে ওঠে। উষ্ণতা কমিলে ডান দিকের কোহল অধিক সংকুচিত হয় এবং পারদসূত্রের A-প্রান্ত নামিয়া আসে এবং B-প্রান্ত সূচক Qকে ঠেলিয়া উপরে ওঠে। সংক্ষেপে বলিতে গেলে, উষ্ণতা বাড়িলে সূচক Qর অবস্থান বদলায় না, কিন্তু সূচক P উপরে ওঠে এবং উষ্ণতা কমিলে সূচক Pর অবস্থান বদলায় না, কিন্তু সূচক Q উপরে ওঠে। অতএব কোন সময়কালে সর্বোচ্চ উষ্ণতা কত হয় তাহা সূচক Pর নিম্ন প্রান্ত দ্বারা এবং সর্বনিম্ন উষ্ণতা কত হয় তাহা সূচক Qর নিম্ন প্রান্ত দ্বারা সূচিত হয়।

লক্ষ্য করিও যে, বাম দিকে উষ্ণতা-নির্দেশক স্কেল নীচ হইতে উপর দিকে বাড়ে, কিন্তু ডান দিকের উষ্ণতা-নির্দেশক স্কেল নীচ হইতে উপর দিকে কমে।

(খ) ক্লিনিকেল বা ডাক্তারী থার্মোমিটার (Clinical thermometer).—রোগীর জ্বর মাপিবার কাজে এই থার্মোমিটার ব্যবহার করা হয়। ইহা একটি সর্বোচ্চ উষ্ণতামাপনী বিশেষ পাল্লার থার্মোমিটার। ইহার পাল্লা সাধারণতঃ 95° ডিগ্রী ফা. হইতে 110° ডিগ্রী ফা. পর্যন্ত থাকে (চিত্র ৮)। ইহার বাল্‌বের মধ্যে এমন পরিমাণ পারদ লওয়া হয় যাহাতে নল সূক্ষ্ম এবং লম্বায় ছোট রাখা সম্ভব হয়। বাল্‌ব Bর দেওয়াল খুব পাতলা। কাণ্ড ACর নল সূক্ষ্ম, দেওয়াল অপেক্ষাকৃত অনেক বেশি পুরু। বাল্‌ব ও নলের ছিদ্রের মধ্যে সংযোগ রাখা হয় একটি অতিসূক্ষ্ম বক্র রন্ধ্রপথে (K)। ইহা একটি বাঁধ বা গাঁট বিশেষ।

ব্যবহার পদ্ধতি.—ব্যবহারের সময়ে থার্মোমিটারটির বাল্‌ব (B) রোগীর জিহ্বার তলায় দিতে হয়। উষ্ণতাবৃদ্ধিহেতু থার্মোমিটারের পারদ তখন প্রসারিত হইয়া রন্ধ্রপথ K অতিক্রম করিয়া নলের মধ্যে উঠিতে থাকে এবং জ্বরাক্রান্ত দেহের সমান উষ্ণতা লাভ করিলে পর পারদ এক শীর্ষ সীমা পর্যন্ত গিয়া অবশেষে স্থির হইয়া দাঁড়ায়। ইহাতে মিনিট খানেক সময় লাগে। তারপর, তাপমাত্রা কত হইল তাহা দেখার জন্য থার্মোমিটারটি মুখ হইতে বাহির করিয়া আনা হয়।

থার্মোমিটার সরাইয়া বাহির করিয়া আনিলে উষ্ণতাহ্রাসের ফলে ইহার পারদ সংকুচিত হয়, কিন্তু ইহাতে নলের পারদসূত্র বাল্‌বের মধ্যে নামিয়া যায় না। কারণ, K-গাঁটের উপরস্থ পারদসূত্র উহার সামান্য চাপে গাঁটের বাধা অতিক্রম করিয়া নীচে নামিয়া আসিতে পারে না। পারদসূত্র K-গাঁটে ছিন্ন হইয়া যায় কিন্তু গাঁটের উপরস্থ পারদসূত্র দণ্ডায়মানই থাকে। এই সূত্রের দৈর্ঘ্য প্রসারিত পারদের সর্বোচ্চ উষ্ণতা নির্দেশ করে। গাঁটের নীচের পারদসূত্র সংকুচিত হইয়া বাল্‌বে ফিরিয়া আসে। পারদের সূচিত উষ্ণতাই রোগীর দেহের উষ্ণতা ধরা হয়। জ্বর কত হইয়াছে তাহা দেখা হইয়া গেলে বাল্‌ব নীচু করিয়া নল ধরিয়া কয়েকটি মৃদু ঝাঁকানি দিলেই নলের মধ্যস্থ পারদ রন্ধ্রপথ পার হইয়া বাল্‌বে নামিয়া আসে এবং থার্মোমিটারটি পুনরায় ব্যবহারের উপযোগী হয়।



চিত্র ৮—ডাক্তারী থার্মোমিটার।

অংশাংকন.—অংশাংকন করিবার পূর্বে থার্মোমিটারটিকে প্রথমে 95° ডিগ্রী ফা. স্থির উষ্ণতাসম্পন্ন কোন তাপ-আধার বা থার্মোস্ট্যাট (**fixed temperature bath or thermostat**)-এর মধ্যে রাখা হয়। পারদসূত্র

ক্রমে উঠিয়া কোথায় স্থির হইল তাহা দেখিয়া সেই উচ্চতা বরাবর কাণ্ডের পৃষ্ঠে একটি দাগ দেওয়া হয়। তারপর 110° ডিগ্রী ফা. স্থির উষ্ণতাসম্পন্ন কোন থার্মোস্টাটে থার্মোমিটারটি রাখিয়া আবার পূর্বের মত একটি দাগ দেওযা হয়। এই 95° ডিগ্রী ফা.এব এবং 110° ডিগ্রী ফা.এর দাগের অন্তর্বর্তী দৈর্ঘ্যকে 15টি সমান ভাগ ভাগ করিলে প্রত্যেকটি ঘর 1° ডিগ্রী ফা.এর সমান হইবে। প্রতি ডিগ্রীকে এরপর আবশ্যকীয় সংখ্যক সমান ভাগে ভাগ করিয়া 1° ডিগ্রীর কোন নির্দিষ্ট ভগ্নাংশ পর্যন্ত উষ্ণতা মাপা যায। এইরূপ অংশাংকন ব্যাপারে সাধারণতঃ নলের প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল ববাবর সমান ধরিযা লওয়া হয।

সতর্কতা: ডাক্তারী থার্মোমিটার ফুটন্ত জল বা অন্য কোন খুব গরম তরল পদার্থে হঠাৎ ডুবানো নিষেধ। ঐরূপ করিলে পাতলা বাল্‌বটি ফাটিয়া যাইতে পারে।

Exercises

1. A bicycle pump gets heated when the tube is pumped. Why? Distinguish between the heat produced and the temperature.

2. Describe the effects which heat produces when applied to a body. Indicate a method of measuring temperature based on one of these effects.

3. Describe how a mercury-in-glass thermometer is constructed. Is it necessary that the bore of the glass-tube should be uniform?

4. What do you mean by the fixed points of a thermometer? Describe the method followed in calibrating a mercury-in-glass thermometer.

5. How does a sensitive mercury-in-glass thermometer differ in construction from a less sensitive thermometer of the same type?

6. A certain thermometer has its boiling point marked 160°, and the freezing point 15°. It reads 95°. Find the corresponding readings on a Fahrenheit and a Centigrade thermometer. উত্তর: 131·3° ফা.; 55·2° সে.।

7. A faulty thermometer reads 1°C. when placed in melting ice and 96°C. in steam at normal barometric pressure. Find the correct temperature when the thermometer reads 39°C.; the bore of the tube and the graduations may be supposed uniform. উত্তর: 40° সে.।

8. Calcutate the boiling point of water when the barometric height is 74·9 cm. of mercury. If a thermometer reads 99·2°C. under these conditions, what is the correction to be applied to it? উত্তর: 99·59° সে.; +0·39° সে.।

9. What is a maximum and minimum thermometer? What are the special fields of its use? Describe Six's maximum and minimum thermometer with a neat diagram, indicating the speciality of its scales.

10. Describe a clinical thermometer and indicate its special features. How can it be made more sensitive?

11. Compare mercury and alcohol as thermometric substances.

দ্বিতীয় পরিচ্ছেদ

তাপপ্রয়োগে কঠিন পদার্থের প্রসারণ

(Thermal Expansion of Solids)

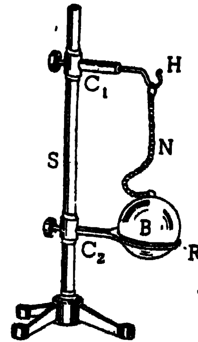
১৫। তাপপ্রয়োগে কঠিন পদার্থের প্রসারণ :—

(ক) অধিকাংশ কঠিন পদার্থই তাপ পাইলে প্রসারিত ও তাপ হারাইলে সংকুচিত হয়। অবাধ অবস্থায় বস্তুর এই প্রসারণ সর্বদিকেই হইয়া থাকে।

যে-কোন দিকে কোন কঠিন বস্তুর প্রসারণ বা সংকোচনকে উহার রৈখিক প্রসারণ (linear expansion) বা রৈখিক সংকোচন বলা হয়। ক্ষেত্রফলের প্রসারণ বা সংকোচনকে তলপ্রসারণ (surface expansion) এবং আয়তনের প্রসারণ বা সংকোচনকে আয়তন বা ঘন প্রসারণ (volume or cubical expansion) বলা হয়*।

গোলক ও রিংএর পরীক্ষার সাহায্যে কঠিন পদার্থের প্রসারণ (তাপ পাইলে) ও সংকোচন (তাপ হারাইলে) সহজেই দেখান যায়।

গোলক ও রিং পরীক্ষা।—একটি স্ট্যাণ্ডে (S) একটি রিং-ক্ল্যাম্প (C_2R) এবং উহার উপরে একটি হুক্-ক্ল্যাম্প (C_1H) আছে (চিত্র ৯)। চেন N দ্বারা হুক্ H হইতে একটি ধাতব গোলক (B) ঝুলান হইয়াছে। স্বাভাবিক উষ্ণতায় গোলকটি রিংএর মধ্য দিয়া ঠিক ঠিক গলিয়া যায়। কিন্তু গোলকটি কোন অগ্নিশিখা বা চুল্লীতে গরম করিয়া লইলে ইহা আর রিংএর মধ্য দিয়া গলে না। ইহাতেই প্রমাণিত হয় যে, উত্তপ্ত হইলে গোলকটি প্রসারিত হয়। কিছুক্ষণ হাওয়ায় রাখিয়া দিলে গোলকটি আবার ঠাণ্ডা হয় ও রিংএর মধ্য দিয়া তখন গলিয়া যায়। ইহাতেই প্রমাণিত হয় যে, ঠাণ্ডা হইলে গোলকটি সংকুচিত হয়।

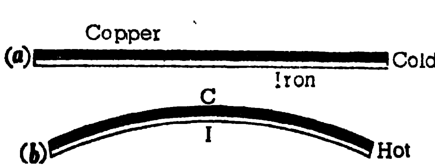


চিত্র ৯

* এইসব প্রসারণের মান খুব কম বলিয়া ইহাদের মাপজোক লইতে হইলে সূক্ষ্ম যন্ত্রের আবশ্যক হয়।

(খ) বিভিন্ন পদার্থের বিভিন্ন প্রসারণ।—একই উষ্ণতা-পরিবর্তনে বিভিন্ন কঠিন পদার্থ বিভিন্ন পরিমাণে প্রসারিত বা সংকুচিত হয়।

যুগ্মদণ্ডের বক্রতার পরীক্ষা (Bending Bar Expt.).—এই পরীক্ষা হইতে তাপের প্রভাবে কঠিন পদার্থের রৈখিক প্রসারণের সত্যতা সহজেই উপলব্ধি করা যায়। চিত্র ১০, (*a*)তে একটি সরল যুগ্মদণ্ড দেখান হইয়াছে। ইহাতে তামা ও লোহার দুইখানি ভিন্ন ভিন্ন বাট নানা স্থানে রিভেট (rivet) করিয়া সংযুক্ত করা হইয়াছে। দণ্ডটি গরম করিলে দেখা যাইবে যে, ইহা বাঁকিয়া গিয়াছে [চিত্র ১০, (*b*)], তামা থাকিবে বক্রের উত্তল পৃষ্ঠে, লোহা থাকিবে অবতল পৃষ্ঠে। ইহাতেই প্রমাণ হয় যে, একই উষ্ণতাবৃদ্ধিতে তামা লোহা অপেক্ষা অধিক প্রসারিত হয়। দণ্ডটিকে লেবরেটরির উষ্ণতা লইতে কম উষ্ণতায় রাখিলে উহা উল্টা দিকে বাঁকিয়া যাইবে, অর্থাৎ লোহা থাকিবে উত্তল পৃষ্ঠে, তামা থাকিবে অবতল পৃষ্ঠে। ইহাতে প্রমাণ হয় যে, একই উচ্চতাহ্রাসের জন্য তামা লোহা অপেক্ষা অধিক সংকুচিত হয়। তাহা হইলে প্রমাণ হইল যে, উষ্ণতা-পরিবর্তনে তামার প্রসারণ বা সংকোচন লৌহ অপেক্ষা বেশি।



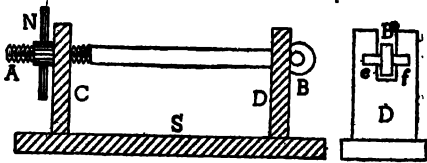
চিত্র ১০

এইরূপে যে-কোন অন্য দুইটি ধাতুর দণ্ড একত্র করিয়া বিভিন্ন ধাতুর প্রসারণ ও সংকোচনের বিভিন্নতা দেখান যায়।

(গ) কঠিন পদার্থের প্রসারণে উদ্ভূত বলের প্রচণ্ডতা।—তাপ দ্বারা কঠিন বস্তুর যে প্রসারণ বা সংকোচন ঘটে তাহা প্রচণ্ড বলে নিষ্পন্ন হয়। এই বলকে 'উষ্ণতার দমক' (temperature stress) আখ্যা দেওয়া যায়। বায়ুর উষ্ণতা পরিবর্তনের সঙ্গে সঙ্গে সৌধ, সেতু, ইত্যাদিরও উষ্ণতার পরিবর্তন ঘটে। ফলে ইহাদের কাঠামোতে 'উষ্ণতার দমক'-জনিত যে বল সৃষ্ট হয় কাঠামোর গড়নে উহাকে সামলাইবার ব্যবস্থা রাখা দরকার। প্রসারণ বা সংকোচনের সময় যে এক প্রচণ্ড বলের সৃষ্টি হয় তাহা নিম্নলিখিত পরীক্ষার সাহায্যে দেখান যায়।

পরীক্ষা।—*S* হইল একটি ভারি লৌহ-পাটাতন (চিত্র ১১)। ইহার সহিত দুইটি লোহার থাম (*C* ও *D*) খাড়াভাবে বসান আছে। একটি লৌহদণ্ড (*AB*)

C ও Dর ছিদ্রের মধ্য দিয়া অনুভূমিকভাবে রাখা হয়। দণ্ডটির একপ্রান্তে একটি রিং (B) আছে এবং অন্য প্রান্তে স্ক্রু কাটা আছে। এই স্ক্রুর উপর একটি নাট (N) বসান আছে। ঢালাই লোহার একটি পিন (ef) (ব্যাস $\frac{1}{4}''$ ইঞ্চির কাছাকাছি) রিং Bর মধ্যে বসাইয়া দিলে AB দণ্ডের B-প্রান্ত Dএর ছিদ্রের মধ্য দিয়া গলিয়া যাইতে পারে না। অন্য প্রান্তে, নাট N আঁটিয়া দিলে দণ্ডটি দৃঢ়ভাবে ধরা থাকে।



চিত্র ১১

প্রথমে দণ্ড ABকে অগ্নিতে উত্তপ্ত করিয়া লইয়া D ও Cর ছিদ্রের মধ্যে প্রবেশ করাইয়া পিন ef ও নাট Nএর সাহায্যে ইহাকে D ও Cর সহিত শক্ত করিয়া আটকাইয়া দেওয়া হয়। দণ্ডটি ধীরে ধীরে ঠাণ্ডা হইয়া সংকুচিত হইতে থাকে। ইহাতে নাট N ও পিন efএর উপর প্রচণ্ড বল পড়ে। শেষ পর্যন্ত অধিকাংশ ক্ষেত্রে পিন ef ভাঙিয়া দুই টুক্‌রা হইয়া যায়।

১৬। কঠিন পদার্থের প্রসারণ ও সংকোচনের নানা দৃষ্টান্ত :—কঠিন পদার্থের তাপগত প্রসারণ ও সংকোচনের কয়েকটি সাধারণ দৃষ্টান্ত নিম্নে বিবৃত হইল :—

(১) একফোঁটা ঠাণ্ডা জল হঠাৎ গরম চিম্‌নীর উপর পড়িলে চিম্‌নীটি প্রায়ই ফাটিয়া যায়। ঠাণ্ডা জল পড়ার জন্য কাঁচে যে স্থানীয় আকস্মিক সংকোচন হয় তাহাই এই ঘটনার জন্য দায়ী। সংকোচন স্থানীয়ভাবে হাওয়ার কারণ এই যে, কাঁচ উত্তম তাপ-পরিবাহক নহে।

(২) পুরু কাঁচের পাত্রে হঠাৎ গরম জল ঢালিলে প্রায়ই উহা ফাটিয়া যায়। কাঁচ তাপের উত্তম পরিবাহক নহে বলিয়া ভিতরের কাঁচ উত্তপ্ত হইলেও বাহিরের কাঁচ ঠাণ্ডা থাকে। ভিতরের কাঁচের আকস্মিক প্রসারণের জন্যই পাত্রটি ফাটিয়া যায়।

(৩) পাহাড়ের প্রস্তর দিনের বেলা গরমে প্রসারিত ও রাত্রে শীতে সংকুচিত হয়। এইরূপ বিপরীত প্রক্রিয়ার দ্বারা কখন কখন ইহা চূর্ণবিচূর্ণ হইয়া যায়।

(৪) বহু-অংশ-সমন্বিত ঢালাই-করা কোন ধাতব বস্তু ঠাণ্ডা করিলে কখনো কখনো দেখা যায় যে, ইহা ভাঙিয়া যায়। ইহার কারণ এই যে, ঐ বস্তুর বিভিন্ন আকৃতির অংশগুলি বিভিন্ন হারে ঠাণ্ডা হয়। ফলে পারস্পরিক সংকোচন সর্বত্র এক না হওয়ায় ফাটল দেখা দেয়।

(৫) কাঁচের ছিপি কখনও কখনও বোতলের মুখে আটকাইয়া যায়। বোতলের মুখের বহিঃপৃষ্ঠে গরম জল ঢালিলে ছিপিটি আল্‌গা হইয়া যায়। কাঁচ তাপের উত্তম পরিবাহক নয় বলিয়া ছিপি উত্তপ্ত হইবার পূর্বেই বোতলের মুখ উত্তপ্ত ও প্রসারিত হয়। ইহাই ছিপিটি আল্‌গা হইয়া যাওয়ার কারণ।

(৬) দুইখানি লোহার প্লেট রিভেট (rivet) করিয়া জুড়িয়া দিবার সময়ে লাল টক্‌টকে রিভেট (বা খিল) ব্যবহার করা হয়। খিলগুলি ঠাণ্ডা হইয়া সংকুচিত হয় এবং প্লেট-দুইখানিকে আরও শক্ত করিয়া আঁটিয়া ধরিয়া রাখে।

(৭) কাঠের চাকায় যে লোহার বেড় বা টায়ার পরান হয় তাহা তৈয়ারি করার সময় চাকার বাহিরের পরিধি অপেক্ষা একটু ছোট রাখা হয়। বেড়টিকে উত্তপ্ত করিলে প্রসারণের ফলে ইহা বড় হয়। তখন উহা চাকার উপরে খাটান হয়। ঠাণ্ডা হইলে সংকুচিত হইয়া বেড়টি চাকার উপর চাপিয়া বসে।

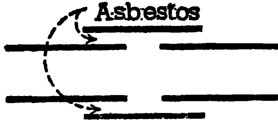
(৮) কোন কোন অগ্নিসঙ্কেতের যন্ত্রে (fire alarm) পিতল ও লোহার নির্মিত একটি রিভেট-করা সরল যুগ্ম দণ্ড থাকে। আগুন লাগিলে উত্তপ্ত দণ্ডটি প্রসারণের ফলে বাঁকিয়া যায় (পিতল ও লোহার প্রসারণ বিভিন্ন পরিমাণে হয় বলিয়া) এবং একটি বৈদ্যুতিক পথচক্র (electric circuit) সম্পূর্ণ করে। তখন প্রবাহিত তড়িতের ক্রিয়ায় ঘণ্টা বাজিয়া ওঠে। এই ঘটনাকে অগ্নিসংকেত-রূপে ব্যবহার করা হয়।

(৯) দোলকের দৈর্ঘ্য বাড়িলে দোলনকাল বাড়ে, দৈর্ঘ্য কমিলে দোলনকাল কমে। যে দোলক-সমন্বিত ঘড়িতে দোলকের দৈর্ঘ্য নিয়মিত করিবার ব্যবস্থা নাই উহার দৈর্ঘ্য গ্রীষ্মকালে বৃদ্ধি পাইবে ও শীতকালে হ্রাস পাইবে। ফলে গ্রীষ্মকালে ঐ ঘড়ি স্লো (slow) বা আস্তে আস্তে চলিবে ও শীতকালে ফাস্ট (fast) বা দ্রুত চলিবে। দোলকের দৈর্ঘ্য যথাযথ নিয়মিত করিতে পারিলে সব ঋতুতেই ঘড়ি ঠিক মত চলিবে। ইহাকে দোলকঘড়িকে রেগুলেট করা বলে।

(১০) জরীপের চেনএর দৈর্ঘ্য কেবলমাত্র একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতাতে সঠিক হইবে। উষ্ণতা ভিন্ন হইলে প্রসারণ বা সংকোচনের জন্য দৈর্ঘ্যের সংশোধন প্রয়োজন।

(১১) বড় বড় ইস্পাতের সেতুর দুই প্রান্ত কখনও ইটের গাঁথুনীর মধ্যে শক্ত করিয়া আটকাইয়া রাখা হয় না। একপ্রান্ত রোলারের (roller) উপর বসান থাকে; ফলে, ইটের গাঁথুনীকে ক্ষতিগ্রস্ত না করিয়াই সেতুটি উষ্ণতা পরিবর্তনে প্রসারিত বা সংকুচিত হইতে পারে।

(১২) গরম জল বা জলীয় বাষ্পবাহী পাইপের জোড়গুলি উষ্ণতাবৃদ্ধি-জনিত প্রসারণে যাহাতে ক্ষতিগ্রস্ত না হয় এইজন্য বিশেষ ধরণের জোড় ব্যবহার করা হয়। চিত্র ১২-তে একটি 'দূরবীণ মাফিক জোড়' দেখান হইয়াছে। পাইপের এই জোড়ের দুই



চিত্র ১২



চিত্র ১৩

মাথাই তাপক্রিয়ায় অবাধে প্রসারিত বা সংকুচিত হইতে পারে। জোড়ের মুখ যাহাতে না চোয়ায় এইজন্য ঐ স্থান অ্যাস্‌বেস্‌টস্‌ দিয়া ঠাসিয়া দেওয়া হয়। চিত্র ১৩-তে একটি 'বক্রজোড়' দেখান হইয়াছে। এক্ষেত্রে প্রসারণের ফলে বক্রতার ব্যাসার্ধ পরিবর্তিত হয়, পাইপ-লাইনে কোন চোট লাগে না।

(১৩) কোন যন্ত্রের চল-অংশগুলি নির্মাণ করিবার সময় ঘর্ষণজাত তাপের ফলে ঐগুলির যে প্রসারণ হইবে তাহার সূক্ষ্ম হিসাব করিতে হয়। ঘর্ষণস্থানসমূহে নানারূপ পিচ্ছিলকারক তৈল (lubricating oil) ব্যবহার করিয়া ঘর্ষণ এবং ঐজন্য যে তাপ সৃষ্ট হয় তাহা কমাইবার চেষ্টা করা হয়।

(১৪) রেলপথে লোহার রেলের জোড়ের মুখে ফাঁক দেখিতে পাওয়া যায়। রেলগুলি শীতকালে সংকুচিত ও গ্রীষ্মকালে প্রসারিত হয়। এই সামান্য ফাঁক রাখার ফলে সংকোচন-প্রসারণে রেল-লাইনের কোন ক্ষতি হইতে পারে না। রেল-লাইনের ফাঁকের দুই দিকের রেলের দুই মাথা ফিস্‌-প্লেট (fish-plate) দ্বারা সংযুক্ত করা থাকে। এই প্লেটগুলি বল্টু দিয়া রেলের সহিত আঁটা হয়। বল্টু ঢুকাইবার গর্তগুলি লাইন বরাবর লম্বা করিয়া করা হয়। এইজন্য গরমের এবং শীতের সময় রেলগুলি দৈর্ঘ্য বরাবর প্রসারিত বা সংকুচিত হইতে পারে।

(১৫) কাঠের দরজা জানালা ঠিকমত হিসাব করিয়া তৈয়ারি করা না হইলে বা উপযোগী কাঠের না হইলে, দেখা যায় যে, শীতের দিনে হয়তো উহাদের বন্ধ করা যায় কিন্তু গরমের দিনে পুরাপুরি বন্ধ করা যায় না। ইহা কাঠের শীতে সংকোচন এবং গরমে প্রসারণের ফল।

(১৬) কাঁচের এবং সব রকম ধাতব তারের উষ্ণতাজনিত প্রসারণ বা উষ্ণতাহ্রাসে সংকোচন সমান নয়। তাই কাঁচের বাল্‌বের গাত্র ভেদ করিয়া সব রকমের তার বায়ুনিরুদ্ধ-

ভাবে সীল করা চলে না। সীসা-গ্লাস ও প্লাটিনামের তাপজনিত প্রসারণ ব সংকোচন সমান বলিয়া প্লাটিনামের তার এইরূপ গ্লাসের সহিত সীল করা যায়।

১৭। **রৈখিক প্রসারণ (linear expansion) এবং রৈখিক প্রসারণের গুণাঙ্ক ((coefficient of linear expansion) :**—কোন কঠিন বস্তু উষ্ণতাবৃদ্ধিহেতু কোন নির্দিষ্ট দিকে যতটুকু প্রসারিত হয় তাহাকে বস্তুটির ঐদিকের রৈখিক প্রসারণ বলা হয়।

পরীক্ষার সাহায্যে জানা গিয়াছে যে, তাপজনিত রৈখিক প্রসারণ

(১) প্রারম্ভিক দৈর্ঘ্যের সহিত সমানুপাতিক,

(২) উষ্ণতাবৃদ্ধির সহিত সমানুপাতিক, এবং

(৩) বস্তুর প্রকৃতির উপর নির্ভরশীল।

মনে কর যে, 0° সে. উষ্ণতায় একটি তামার রডের দৈর্ঘ্য 1 ফুট। উষ্ণতা 10° সে. বৃদ্ধি পাইলে ইহার দৈর্ঘ্য 0·000017 ফুট বৃদ্ধি পায়। দণ্ডটির প্রারম্ভিক দৈর্ঘ্য 5 ফুট হইলে একই উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য ইহার দৈর্ঘ্য (5 × 0·000017) ফুট বৃদ্ধি পাইবে, অর্থাৎ প্রারম্ভিক দৈর্ঘ্য 5 গুণ হইলে মোট দৈর্ঘ্যবৃদ্ধিও 5 গুণ হইবে।

দ্বিতীয়তঃ, ঐ 1 ফুট দীর্ঘ দণ্ডের উষ্ণতাবৃদ্ধি যদি 10° সে. হয়, তাহা হইলে উহার দৈর্ঘ্য 10 × 0·000017 ফুট বৃদ্ধি পাইবে। অর্থাৎ 1° সে. উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য দৈর্ঘ্য যতটুকু বাড়িবে, 10° সে. উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য দৈর্ঘ্য বাড়িবে 10 গুণ।

তৃতীয়তঃ, 0° সে. উষ্ণতায় 1 ফুট লম্বা একটি লৌহদণ্ড লইয়া উহার উষ্ণতা 10° সে. বাড়াইলে দৈর্ঘ্য বাড়িবে 0·000011 ফুট ; অনুরূপ ক্ষেত্রে, কাঁচ বা প্লাটিনামের বেলায় দৈর্ঘ্য বাড়িবে 0·000008 ফুট ; অর্থাৎ, একই দৈর্ঘ্যের বিভিন্ন পদার্থে সমান উষ্ণতাবৃদ্ধিতে বিভিন্ন পরিমাণের রৈখিক প্রসারণ ঘটে।

রৈখিক প্রসারণের গুণাঙ্ক।—রৈখিক প্রসারণের গুণাঙ্ক

$$= \frac{0° \text{ সেন্টিগ্রেডে, } 1° \text{ সে. উষ্ণতাবৃদ্ধিজনিত দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি}}{0° \text{ সেন্টিগ্রেডে বস্তুটির দৈর্ঘ্য}}$$

(ক) রৈখিক প্রসারণের গুণাঙ্ক দৈর্ঘ্যের এককের উপর নির্ভর করে না।—0° সেন্টিগ্রেডে একটি 1 ফুট লম্বা তামার রড 1° সে. উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য দৈর্ঘ্যে বাড়িবে 0·000017 ফুট। 0° সেন্টিগ্রেডে 1 সে.মি. লম্বা একটি তামার রড 1° সে. উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য দৈর্ঘ্যে বাড়িবে 0·000017 সে.মি.। 0° সেন্টিগ্রেডে 1 মাইল লম্বা একটি তামার রড 1° সে. উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য দৈর্ঘ্যে বাড়িবে 0·000017 মাইল।

লক্ষ্য করিতেছ যে, প্রতিক্ষেত্রেই 1° সে. উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য (0° সে. হইতে 1° সে.) দণ্ডটি উহার 0° সে. উষ্ণতার দৈর্ঘ্যের 0.000017 গুণ বাড়িয়া যায়, অর্থাৎ দৈর্ঘ্যের যে এককই ব্যবহার করা হউক না কেন, রৈখিক প্রসারণের গুণাঙ্ক সর্বদা একই হইবে।

(খ) রৈখিক প্রসারণের গুণাঙ্ক উষ্ণতাস্কেলের উপর নির্ভর করে।— 1° ফা. উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য কোন দৈর্ঘ্য যতটুকু প্রসারিত হইবে, 1° সে. উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য ঐ দৈর্ঘ্য বাড়িবে তাহার $\frac{9}{5}$ গুণ। সুতরাং প্রতি ডিগ্রী ফারেনহাইটের প্রসারণ-গুণাঙ্ক প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডের প্রসারণ-গুণাঙ্কের $\frac{5}{9}$ ভাগ হইবে, অর্থাৎ তামার প্রসারণ-গুণাঙ্ক প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে 0.000017 হইলে, প্রতি ডিগ্রী ফারেনহাইটে উহা $\frac{5}{9}\times 0.000017$ ($=0.0000094$) হইবে। প্রথমটিকে 0.000017, প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে (বা, $0.000017/^\circ C.$) ও দ্বিতীয়টিকে 0.0000094, প্রতি ডিগ্রী ফারেনহাইটে (বা $0.0000094/^\circ F.$), এইরূপ লেখা হয়।

(গ) গড় প্রসারণ-গুণাঙ্ক—খুব সূক্ষ্ম মাপ লইলে দেখা যায় যে, কোন নির্দিষ্ট দৈর্ঘ্যের কঠিন পদার্থ 1° উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য উষ্ণতাস্কেলের বিভিন্ন অংশে বিভিন্ন পরিমাণে প্রসারিত হয়। অবশ্য এই বিভিন্ন পরিমাণের মধ্যে পার্থক্য খুবই কম। 0° সে. হইতে 1° সে. পর্যন্ত উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য প্রসারণ 60° সে. হইতে 61° সে. বা 90° সে. হইতে 91° সে. পর্যন্ত উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য প্রসারণ হইতে কিছুটা ভিন্ন হইবে। এইজন্য গড় প্রসারণ-গুণাঙ্কের ধারণার প্রবর্তন করিতে হইয়াছে। 0° সে. হইতে t° সে.এর মধ্যে গড় রৈখিক প্রসারণ-গুণাঙ্ক

$$=\frac{0^\circ \text{ সে. হইতে } t^\circ \text{ সে. পর্যন্ত উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য মোট দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি}}{0^\circ \text{ সে.এর দৈর্ঘ্য} \times (t-0)}, \text{ প্রতি ডিগ্রী সে.তে।}$$

তাহা হইলে, 0° সে. ও 100° সে.এর মধ্যে গড় রৈখিক প্রসারণ-গুণাঙ্ক,

$$=\frac{0^\circ \text{ সে. হইতে } 100^\circ \text{ সে. পর্যন্ত উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য মোট দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি}}{0^\circ \text{ সে.এর দৈর্ঘ্য} \times (100-0)}, \text{প্রতি ডিগ্রী সে.তে।}$$

উপরের আলোচনায় কোন্ উষ্ণতার দৈর্ঘ্য কত তাহা বলা হয় নাই। 0° সে.তে দৈর্ঘ্য l_0 এবং t° সে.-তে দৈর্ঘ্য l হইলে,

$$l=l_0+\text{দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি}=l_0+\{l_0\times(\alpha)\times t\}=l_0(1+\alpha t) \quad \ldots \quad \ldots \quad (১)$$

এখানে α স্পষ্টতঃই 0° সে. ও t° সে.এর মধ্যের গড় রৈখিক প্রসারণ-গুণাঙ্ক।

(৪) রৈখিক প্রসারণ-গুণাঙ্কের উপরোক্ত আলোচনায় বার বার 0° সে.এর দৈর্ঘ্যের কথা বলা হইয়াছে। কিন্তু 0° সে.এর দৈর্ঘ্য বাহির করা বাস্তবক্ষেত্রে প্রায়শঃই অসুবিধাজনক হইয়া পড়ে। এইজন্য কোন পরীক্ষায় বস্তুর প্রারম্ভিক দৈর্ঘ্য যাহা থাকে (লেবরেটরির উষ্ণতায়) তাহার সাহায্যেই হিসাবপত্র করা সুবিধাজনক হয়। 0° সে.এর দৈর্ঘ্যের পরিবর্তে লেবরেটরির উষ্ণতার দৈর্ঘ্যকে প্রারম্ভিক দৈর্ঘ্য হিসাবে গ্রহণ করায় ভুল অবশ্য কিছু হয়; কিন্তু এই ভুলের পরিমাণ খুবই নগণ্য। নিম্নলিখিত দৃষ্টান্তের সাহায্যে ইহা বুঝা যাইবে।

মনে কর, $l_0 = 0°$ সে.তে দৈর্ঘ্য,

$l_1 = t_1°$ „ ,

$l_2 = t_2°$ „ ।

এই ক্ষেত্রে ধরা যাক্, $t_1°$ হইল প্রারম্ভিক উষ্ণতা (লেবরেটরির উষ্ণতা) এবং $t°_2$ হইল শেষ উষ্ণতা (বস্তুটিকে গরম করা শেষ হইবার পর)।

পূর্বোক্ত সমীকরণ (১) অনুযায়ী, $l_1 = l_0\,(1+\alpha t_1)$ এবং $l_2 = l_0\,(1+\alpha t_2)$।

α স্পষ্টতঃই 0° সে. ও $t_2°$ সে. এর মধ্যের **গড়** রৈখিক প্রসারণের গুণাঙ্ক।

$$\therefore\quad \frac{l_2}{l_1} = \frac{1+\alpha t_2}{1+\alpha t_1} = (1+\alpha t_2)(1+\alpha t_1)^{-1} = (1+\alpha t_2)(1-\alpha t_1)\ \text{(প্রায়)}$$

$$= 1+\alpha(t_2-t_1) - \alpha^2 t_1 t_2 = 1+\alpha(t_2-t_1)\ \text{(প্রায়)}$$

[এখানে $\alpha^2 \times t_1 \times t_2$ নগণ্য বলিয়া (α ছোট রাশি বলিয়া) উপেক্ষিত হইয়াছে।]

$$\therefore\quad l_2 = l_1\{1\times\alpha(t_2-t_1)\}\ ;\quad \text{অর্থাৎ, } \alpha = \frac{l_2-l_1}{l_1(t_2-t_1)},\ \text{প্রতি ডিগ্রী সে.তে।}$$

অতএব $t_1°$ সে. ও $t_2°$ সে.এর মধ্যের গড় রৈখিক প্রসারণ-গুণাঙ্ক

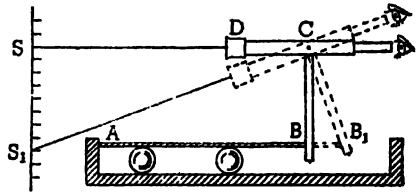
$$= \frac{\text{দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি}}{\text{প্রারম্ভিক দৈর্ঘ্য} \times \text{উষ্ণতাবৃদ্ধি}}\ ।$$

প্রারম্ভিক দৈর্ঘ্য এক্ষেত্রে লেবরেটরির উষ্ণতার দৈর্ঘ্য ধরা হইয়াছে, 0° সে.তে উষ্ণতার দৈর্ঘ্য নয়। রৈখিক প্রসারণ-গুণাঙ্কের মান খুব ছোট। তাই ইহার বর্গ বা ততোধিক ঘাতের রাশিগুলিকে উপেক্ষা করা যায় বলিয়াই উপরোক্ত সম্পর্ক গ্রহণ করা চলে। ৮

১৮। রৈখিক প্রসারণ-মাপনের পদ্ধতি:—সাধারণ উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য

বস্তুমাত্রেরই প্রসারণ খুব কম হয় বলিয়া উহা মাপিবার জন্য সূক্ষ্ম যন্ত্রের প্রয়োজন হয়। এখানে লেবরেটরিতে ব্যবহারযোগ্য দুইটি সহজ পদ্ধতি বর্ণিত হইল।

(ক) লেভয়সিঁয়ে (Lavoisier) ও লাপ্লাস (Laplace)-এর পদ্ধতি.— কোন ধাতু একটি সরল রডের আকারে পাওয়া গেলে এই পদ্ধতি ব্যবহার করা চলে। চিত্র ১৪তে একটি পরীক্ষণীয় রড (AB) দুইটি রোলারের উপর স্থাপিত দেখান আছে। রোলারদুইটি ও রডটি একটি তৈলপূর্ণ পাত্রের মধ্যে আছে। ঐ তৈলকে তাপগাহ হিসাবে ব্যবহার করা হয়। রডের A-প্রান্ত পাত্রের গাত্রের সহিত অনড় অবস্থায় যুক্ত এবং অন্য প্রান্ত Bতে একটি খাড়া লিভারের নিম্ন প্রান্তে লাগিয়া আছে। এই লিভারটির মাথায় (C) একটি কম পাল্লার দূরবীণ (D) অনুভূমিকভাবে বসান হয়। পরীক্ষার সুরুতে তৈলের উষ্ণতা বাড়াইবার পূর্বে দূরবীণটি অনতিদূরে অবস্থিত একটি খাড়া স্কেলে (S) ঐ অনুভূমিক তলে যে দাগ আছে তাহার উপর ফোকাস্ (focus) করা হয়। এই সময়, মনে কর, গাহের উষ্ণতা হইল t_1° সে.। ইহা একটি থার্মোমিটার দিয়া মাপা হয়। তারপর, মনে কর, পাত্রের তৈল ক্রমে গরম করিয়া, t_2° সে. স্থির উষ্ণতায় রাখা হইল। এই উষ্ণতাও একটি থার্মোমিটার তৈলে ডুবাইয়া মাপা হয়। এই উষ্ণতাবৃদ্ধির ফলে AB রড দৈর্ঘ্যে প্রসারিত হইয়া, ধরা যাক্, AB_1 হইল। ফলে, লিভারটি ও উহার উপর স্থাপিত দূরবীণটি হেলিয়া যাইবে (এই হেলানো অবস্থা চেন-রেখা দ্বারা চিত্রে প্রদর্শিত হইয়াছে)। এখন স্কেলের S দাগ দূরবীণের আর ফোকাসে থাকিতে পারে না, ভিন্ন একটি দাগ S_1, মনে কর, দূরবীণের ফোকাসে আসিল।



চিত্র ১৪

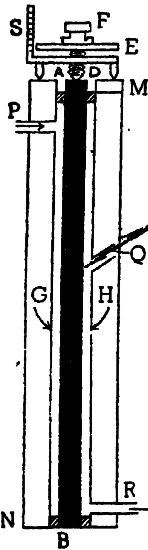
SS_1C এবং BB_1C ত্রিভুজদুইটি সদৃশ বলিয়া,

$$\frac{BB_1}{BC}=\frac{SS_1}{CS}= ; \text{ বা, } BB_1=\frac{BC}{CS}\times SS_1 \qquad (১)$$

অতএব BC ও CS মাপিয়া লইলে এবং স্কেলের S ও S_1 পাঠের পার্থক্য নির্ণয় করা হইলে t_1° সে. হইতে t_2° সে. পর্যন্ত উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য AB রডের প্রসারণ (BB_1)

হিসাব করিয়া বাহির করা যাইবে। রডটির প্রারম্ভিক দৈর্ঘ্য AB ($t_1°$ সে. উষ্ণতায়) হইলে, $t_1°$ সে. ও $t_2°$ সে.এর মধ্যে উহার গড় রৈখিক প্রসারণ-গুণাঙ্ক

$$=\frac{BB_1}{AB(t_2-t_1)},$$ প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে।



চিত্র ১৫-
পুলিনজারের যন্ত্র।

(খ) পুলিন্‌জারের যন্ত্রের সাহায্যে (by Pullinger's Apparatus).—ইহাতে কোন ধাতব রডের রৈখিক প্রসারণ একটি স্ফেরোমিটারের সাহায্যে মাপা হয়। যন্ত্রটিতে একটি পিতলের মোটা নল (MN) আছে। ইহা কাঁচের একটি সমতল প্লেটের উপর কাঠের একটি কাঠামো (frame)-র পিঠে খাড়াভাবে বসান থাকে। পরীক্ষণীয় রডটি (AB) মোটামুটি 1 সে মি. ব্যাসের ও 1 মিটার দৈর্ঘ্যের নেওয়া হয়। নলের ছিদ্র GHএর মধ্যে কাঁচের প্লেটের উপর ইহাকে দাঁড় করাইয়া রাখা হয়। রডটি কেন্দ্রে-ছিদ্র-করা দুইটি কর্কের সাহায্যে খাড়াভাবে নলের মধ্যে থাকে। পিতলের নলে একটি আগমপথ (inlet, P) এবং একটি নির্গমপথ (outlet, R) আছে। শুষ্ক স্টীম P আগম পথ দিয়া ভিতরে প্রবেশ করান হয় এবং নির্গমপথ R দিয়া উহা বাহির হইয়া যায়। যন্ত্রের বাহিরে একটি বয়লারে ঐ স্টীম উৎপন্ন করা হয়। GH ছিদ্রের সঙ্গে যোগাযোগকারী একটি পার্শ্বনল (Q) MN নলটির মাঝামাঝি অবস্থানে আছে। Qর মুখ একটি কর্কের ছিপির সাহায্যে বন্ধ করিয়া দেওয়া হয়। ছিপির মধ্যে ছিদ্র করিয়া ঐ ছিদ্র দিয়া একটি থার্মোমিটার বসাইয়া নলের মধ্যস্থ স্টীমের উষ্ণতা মাপা হয়। সুরুতে রডের শীর্ষ নলের শীর্ষের সমতলে থাকে। উষ্ণতাবৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে উহা ঊর্ধ্ব দিকে প্রসারিত হয় (ঐ প্রান্ত মুক্ত বলিয়া)। পরীক্ষাটিতে নিম্নলিখিত পদ্ধতি অবলম্বন করা হইয়া থাকে।

পরীক্ষাগারের উষ্ণতায় ($t_1°$ সে.) AB রডের দৈর্ঘ্য একখানি মিটার স্কেলের সাহায্যে গোড়াতে মাপা হয়। এই পরিমাপ মিলিমিটার পর্যন্ত সঠিক হইলেই চলে, কারণ রডের দৈর্ঘ্য ঐ তুলনায় বেশ বড়। ইহার পর রডটি পুলিন্‌জার যন্ত্রের ভিতরে বসান হয় এবং থার্মোমিটারটি Q-মুখের মধ্যে প্রবেশ করাইয়া উহার দ্বারা অভ্যন্তরস্থ প্রারম্ভিক উষ্ণতা ($t_1°$ সে.) নির্ণয় করিতে হয়। তারপর, একটি উত্তম স্ফেরোমিটার (SFE) লইয়া

উহার নিম্নতম মাপ (least count) বাহির করিতে হয়। ইহার পর স্ফেরোমিটারের বাহিরের তিনটি পায়ার নিম্ন বিন্দু নলের শীর্ষস্থ একটি কাঁচের প্লেটের (D) উপর এবং কেন্দ্রের পায়ার নিম্ন বিন্দু রডের মাথায় (A) রাখিয়া স্ফেরোমিটারটিকে বসাইতে হয়। কেন্দ্রের পায়ার নিম্ন বিন্দু রডটিকে ঠিক ঠিক স্পর্শ করিলে স্ফেরোমিটারের প্রারম্ভিক পাঠ লওয়া হয়। ইহার পর স্ফেরোমিটারের স্ক্রুটিকে নির্দিষ্ট কয়েক পাক (3 বা 4) ঘুরাইয়া কেন্দ্রীয় পায়াটি উপরে তুলিয়া রাখা হয়। এরপর স্টীম নলে প্রবেশ করান হয় এবং নলের ভিতরের উষ্ণতা ($t_2°$ সে.) স্থির না হওয়া পর্যন্ত অপেক্ষা করিয়া উষ্ণতা স্থির হইলে স্ফেরোমিটারের কেন্দ্রীয় পায়াটি ধীরে ধীরে নামাইয়া (স্ক্রু বিপরীত দিকে ঘুরাইয়া) উহার দ্বারা রডের শীর্ষ স্পর্শ করান হয়। এইবার স্ফেরোমিটারটির পাঠ পুনরায় লইতে হয়। স্ফেরোমিটারের এই দুই পাঠের পার্থক্য = রডটির দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি। তাহা হইলে, রডটির $t_1°$ সে. ও $t_2°$ সে.এর মধ্যের গড় রৈখিক প্রসারণ-গুণাঙ্ক,

$$\alpha = \frac{\text{স্ফেরোমিটার দ্বারা নির্ণীত দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি}}{AB \text{ রডের প্রারম্ভিক দৈর্ঘ্য} \times (t_2 - t_1)}, \text{ প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে।}$$

১৯। **উষ্ণতাবৃদ্ধিতে যে সকল বস্তু প্রসারিত হয় না :**—ইন্‌ভার (inver), সিলিকা (silica), কোয়ারজ্ (quartz) ইত্যাদি কয়েকটি পদার্থ সাধারণ উষ্ণতাবৃদ্ধিতে বিশেষ প্রসারিত হয় না। ইন্‌ভার শতকরা 64 ভাগ ইস্পাত ও শতকরা 36 ভাগ নিকেল দ্বারা নির্মিত একপ্রকারের মিশ্র ধাতু। ইহার রৈখিক প্রসারণ গুণাঙ্ক 9×10^{-7}, প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে। এই গুণাঙ্ক অতি নগণ্য। ফ্লাস্ক, ক্রুসিব্‌ল, বোতল, প্রভৃতি সিলিকা বা কোয়ারজ্ দ্বারা তৈয়ারি করা হয়। ঠাণ্ডা বা গরমে ইহারা সংকুচিত বা প্রসারিত হয় না বলিলেই চলে। কোয়ারজের নির্মিত একটি উত্তপ্ত (লাল টকটকে) ক্রুসিব্‌লকে হঠাৎ ঠাণ্ডা করিলেও উহার ফাটন ধরিবার কোন আশঙ্কা থাকে না।

২০। **তলপ্রসারণ এবং আয়তন বা ঘন প্রসারণ :**—উত্তপ্ত হইলে কঠিন পদার্থ সর্বদিকে প্রসারিত হয় বলিয়া ইহার তলের ক্ষেত্রফল এবং আয়তন উষ্ণতাবৃদ্ধির সহিত বৃদ্ধি পায়। তলের ক্ষেত্রফলের বৃদ্ধিকে তলপ্রসারণ এবং আয়তনের বৃদ্ধিকে আয়তন (বা ঘন) প্রসারণ বলা হয়।

২১। তলপ্রসারণের গুণাঙ্ক :—

(ক) তলপ্রসারণের গুণাঙ্ক (রৈখিক প্রসারণ-গুণাঙ্কের অনুরূপভাবে).-

$$=\frac{1^\circ \text{ উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য তলের ক্ষেত্রফলবৃদ্ধি}}{\text{তলের প্রারম্ভিক ক্ষেত্রফল}}।$$

t_1° ও t_2°র মধ্যের গড় তলপ্রসারণ-গুণাঙ্ক,

$$\beta=\frac{\text{মোট তলপ্রসারণ বা ক্ষেত্রফলবৃদ্ধি}}{\text{তলের প্রারম্ভিক ক্ষেত্রফল} \times \text{উষ্ণতাবৃদ্ধি}}।$$

t_1°-তে তলের ক্ষেত্রফল S_1 এবং t_2°তে তলের ক্ষেত্রফল S_2 হইলে,

$$\beta=\frac{S_2-S_1}{S_1 \times (t_2-t_1)}, \text{ প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে বা ফারেনহাইটে।}$$

$$\therefore \quad S_2=S_1+\beta S_1(t_2-t_1)$$
$$=S_1(1+\beta t), \quad [t=t_2-t_1=\text{উষ্ণতাবৃদ্ধি}] \quad \cdots \quad \cdots \quad (১)$$

(খ) আয়তন (বা ঘন) প্রসারণের গুণাঙ্ক.—

আয়তন প্রসারণের গুণাঙ্ক (রৈখিক প্রসারণ-গুণাঙ্কের অনুরূপভাবে) $=\frac{1^\circ \text{উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য আয়তনবৃদ্ধি}}{\text{প্রারম্ভিক আয়তন}}$ এবং t_1° ও t_2°র মধ্যের গড় আয়তন-প্রসারণের গুণাঙ্ক, $\gamma=\frac{\text{মোট আয়তন প্রসারণ বা আয়তনবৃদ্ধি}}{\text{প্রারম্ভিক আয়তন} \times \text{উষ্ণতাবৃদ্ধি}}$

t_1°-তে আয়তন V_1 এবং t_2°-তে আয়তন V_2 হইলে,

$$\gamma=\frac{V_2-V_1}{V_1 \times (t_2-t_1)}, \text{ প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে বা ফারেনহাইটে।}$$

$$\therefore \quad V_2=V_1+\gamma V_1(t_2-t_1)=V_1(1+\gamma t),$$
$$[t=t_2-t_1=\text{উষ্ণতাবৃদ্ধি}] \quad \cdots \quad \cdots \quad (২)$$

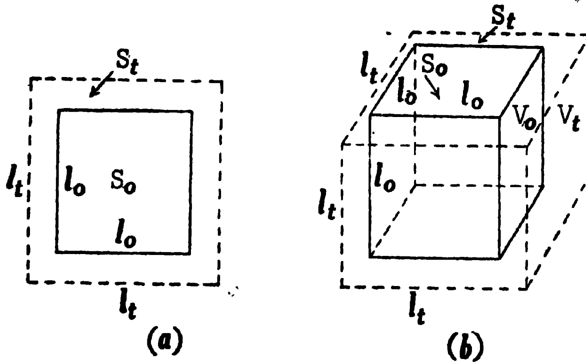
২২। α, β ও γর পারস্পরিক সম্পর্ক :—

(ক) α ও βর পারস্পরিক সম্পর্ক.—

সর্বত্র সমগঠনবিশিষ্ট (isotropic) একটি কঠিন পদার্থের কোন এক বর্গতলের ক্ষেত্রফল আলোচনা করা যাক্। 0° সে. উষ্ণতায় ইহার প্রতি বাহুর দৈর্ঘ্য l_0 [চিত্র ১৬

(a)]। ঐ উষ্ণতায়, তাহা হইলে আলোচ্য বর্গতলের ক্ষেত্রফল, $S_0 = l_0^2$ ... (১)
$t°$ সে. উষ্ণতায় বর্গতলের প্রতি বাহুর দৈর্ঘ্য l_t হইলে ও তলীয় ক্ষেত্রফল S_t হইলে $S_t = l_t^2$।

আবার, $l_t = l_0 (1+\alpha t)$, [এখানে α হইল 0° সে. ও $t°$ সে.-র মধ্যের গড় রৈখিক প্রসারণ-গুণাঙ্ক]।



চিত্র ১৬

$$S_t = l_t^2 = l_0^2(1+\alpha t)^2,$$
$$= l_0^2(1+2\alpha t+\alpha^2 t^2),$$
$$= l_0^2(1+2\alpha t), \text{ [}\alpha^2 t^2 \text{ নগণ্য বলিয়া] } \quad \cdots \quad (২)$$
$$= S_0(1+\beta t), \text{ [}\beta\text{র সংজ্ঞা অনুযায়ী],}$$
$$= l_0^2(1+\beta t), \text{ [সমীকরণ (১) অনুযায়ী] } \quad \cdots \quad (৩)$$

সমীকরণ (২) ও (৩) হইতে, $1+\beta t = 1+2\alpha t$;

বা, $\beta = 2\alpha$, (প্রায়) ;

অর্থাৎ, তলপ্রসারণের গুণাঙ্ক $= 2 \times$ রৈখিক প্রসারণের গুণাঙ্ক (প্রায়)।

(ক) α ও γর পারস্পরিক সম্পর্ক.—

এবার, সর্বত্র সমগঠনবিশিষ্ট (isotropic) একটি কঠিন পদার্থের ঘনকের আয়তন বিবেচনা করা যাক্ [চিত্র ১৬(b)]। যে-কোন বাহুর দৈর্ঘ্য 0° সে. উষ্ণতায় l_0 ধর। $t°$ সে.তে ঐ দৈর্ঘ্য l_tতে বর্ধিত হইবে। 0° সে. উষ্ণতায় ঘনকটির আয়তন, $V_0 = l_0^3$ এবং $t°$ সে. উষ্ণতায় ঘনকটির আয়তন, $V_t = l_t^3$।

এখন, $V_t = l_t^3 = \{l_o(1+\alpha t)\}^3 = l_o^3(1+3\alpha t+3\alpha^2 t^2+\alpha^3 t^3)$

$= l_o^3(1+3\alpha t)$, (প্রায়), [$3\alpha^2 t^2$ ও $\alpha^3 t^3$ নগণ্য বলিয়া] ... (১)

কিন্তু, $V_t = V_o(1+\gamma t)$......[অনুচ্ছেদ ২১এর সমীকরণ (২)] ... (২)

সমীকরণ (১) ও (২) হইতে, $1+\gamma t = 1+3\alpha t$; বা, $\gamma = 3\alpha$, (প্রায়) ।

অর্থাৎ, আয়তন-প্রসারণের গুণাঙ্ক $= 3 \times$ রৈখিক প্রসারণের গুণাঙ্ক (প্রায়) ।

Examples

1. A cube whose sides are each 100 cms. at 0°C. is raised to 100°C. If the sides be each 101 cms., find the co-efficients of linear, superficial and cubical expansions.

উত্তর : রৈখিক প্রসারণের গুণাঙ্ক, α

$= \dfrac{\text{দৈর্ঘ্যের মোট পরিবর্তন}}{\text{প্রারম্ভিক দৈর্ঘ্য} \times \text{উষ্ণতাবৃদ্ধি}} = \dfrac{\text{চূড়ান্ত দৈর্ঘ্য} - \text{প্রারম্ভিক দৈর্ঘ্য}}{\text{প্রারম্ভিক দৈর্ঘ্য} \times \text{উষ্ণতাবৃদ্ধি}}$

$= \dfrac{101-100}{100 \times 100}$, প্রতি ডিগ্রী সে.তে $= 1 \times 10^{-4} = 0{\cdot}0001$, প্রতি ডিগ্রী সে.তে ।

তরলপ্রসারণের, $\beta = 2\alpha = 0{\cdot}0002$, প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে ।

আয়তন-প্রসারণের গুণাঙ্ক, $\gamma = 3\alpha = 0{\cdot}0003$, প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে ।

2. A lump of iron has a volume of 10 cubic feet at 100°C.; find its volume at 25°C. (α for iron $= 0{\cdot}000012$ per°C)

উত্তর : $\gamma = 3\alpha = 0{\cdot}000036$, প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে ।

$V_{100} = V_{25}\{1+\gamma(t_2-t_1)\}$;

বা, $10 = V_{25}\{1+0{\cdot}000036(100-25)\}$;

বা, $V_{25} = 10/(1+0{\cdot}0027) = 10 \times (1+0{\cdot}0027)^{-1}$

$= 10(1-0{\cdot}0027)$, প্রায় $= 9{\cdot}973$ ঘন ফুট (প্রায়) ।

3. The distance between Allahabad and Delhi is 390 miles. Find the total space that must be left between rails to allow for a change of temperature from 36°F. in winter to 117°F. in summer (Co-efficient of linear expansion, α, for iron $= 0{\cdot}000012$ per°C.).

উত্তর : $\alpha = 0{\cdot}000012 \times \frac{5}{9}$ প্রতি ডিগ্রী ফারেনহাইটে ।

$\therefore$ মোট ফাঁক $=$ মোট প্রসারণ $= 390 \times (0{\cdot}000012 \times \frac{5}{9}) \times (117-36)$

$= 390 \times 0{\cdot}000012 \times \frac{5}{9} \times 81 = 390 \times 0{\cdot}000012 \times 5 \times 9 = 0{\cdot}21$ মাইল ।

4. An iron ring is 1 foot in diameter. It is to be shrunk on to a pulley which is 1·005 ft. in diameter. If the temperature of the

ring be 10°C., find the temperature to which it must be raised so that it will slip on the circumference of the pulley. Co-efficient of linear expansion, α, for iron = 0·000012 per °C.

উত্তর : 10° সে. উষ্ণতায় লৌহবলয়ের পরিধি $= \pi \times 1$ ফুট। চাকার পরিধি $= \pi \times 1{\cdot}005$ ফুট। অতএব চাকায় বসাইবার জন্য লৌহবলয়ের প্রয়োজনীয় দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি $= \pi\ (1{\cdot}005 - 1) = 0{\cdot}005\pi$ ফুট।

মনে কর যে, দৈর্ঘ্যবৃদ্ধির জন্য t° সে. উষ্ণতাবৃদ্ধি প্রয়োজন।

$\therefore\ 0{\cdot}005\pi = (\pi \times 1) \times 0{\cdot}000012 \times (t - 10)$; বা, $t - 10 = 5{,}000/12$;

বা, $t = \frac{5{,}000}{12} + 10 = 426{\cdot}6°$ সে.।

5. *A glass rod when measured with a zinc scale, both being at 20°C. appears to be 1 metre long. If the scale is correct at 0°C., what is the true length of the glass rod at 0°C.? The Co-efficient of linear expansion of glass is 8×10^{-6} per °C. and that of zinc 26×10^{-6} per °C.*

উত্তর : 0° সে.তে দস্তার স্কেলের একঘর = 1 সে মি.।

$\therefore$ 20° সে.তে " " " $= 1(1 + 0{\cdot}000026 \times 20) = 1{\cdot}00052$ সে.মি.।

$\therefore$ 20° সে.তে দস্তার স্কেলের 1 মিটার বা 100 সে.মি. $= 100 \times 1{\cdot}00052$

$= 100{\cdot}052$, (প্রকৃত) সে.মি.।

অতএব 20° সে.তে কাঁচের রডটির সঠিক দৈর্ঘ্য $= 100{\cdot}052$ সে.মি.।

তাহা হইলে, [(0° সে.তে কাঁচের রডটির প্রকৃত দৈর্ঘ্য) $\times (1 + 0{\cdot}000008 \times 20)] = 100{\cdot}052$]

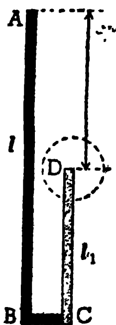
$\therefore$ 0° সে তে. কাঁচের রডটির প্রকৃত দৈর্ঘ্য $= \frac{100{\cdot}052}{(1 + 0{\cdot}000008 \times 20)} = 100{\cdot}035$ সে.মি.।

২৩। উষ্ণতার হ্রাসবৃদ্ধিজনিত ঘড়ির প্রয়োজনীয় সংশোধন :— ক্লক্ ঘড়ি যে হারে চলিবে তাহা দোলকের দৈর্ঘ্য দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়। যে হারে ঘড়ি চলিবে তাহা নির্ভর করে দোলকের দোলনকালের উপর। দোলনকাল (T) দৈর্ঘ্যের বর্গমূলের ($\sqrt{L}$) সহিত সমানুপাতিক (অনুচ্ছেদ ১·৮তে দেখান হইয়াছে যে, $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$)। দোলকের দৈর্ঘ্য হইল ঝুলনবিন্দু হইতে দোলকের ভারকেন্দ্রের দূরত্ব। দোলকের ববের কেন্দ্রকে দোলকের ভারকেন্দ্র মনে করিলে বিশেষ কোন ভুল হয় না। দোলকের দৈর্ঘ্য বাড়িলে দোলনকাল বাড়িয়া যাইবে ও ঘড়ি স্লো চলিবে ;

দৈর্ঘ্য কমিলে দোলনকাল কমিবে এবং ঘড়ি ফাস্ট চলিবে; এইজন্য ঘড়ি সাধারণতঃ গ্রীষ্মকালে স্লো চলে এবং শীতকালে ফাস্ট চলে। ইহার প্রতিকারের জন্য একপ্রকার বিশেষ ধরণের দোলক নির্মিত হয়, যাহার কার্যকর দৈর্ঘ্য উষ্ণতার হ্রাসবৃদ্ধিতে একই থাকে। ইহাকে **সংশোধিত দোলক** বলা হয়।

ওয়াচ্ ঘড়ির চলার হার উহার ভারসাম্যচক্র (বা ব্যালান্সচক্র) দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়। একটি ইস্পাতনির্মিত হেয়ার স্প্রিং (hair spring)-এ দম দেওয়া থাকে। এই পেঁচানো স্প্রিংএর স্থিতিশক্তির সাহায্যে ভারসাম্যচক্র উহার চলশক্তি পায়। উষ্ণতাবৃদ্ধিতে চক্রটির ব্যাস বাড়িয়া গেলে উহার স্পন্দনকাল (period of vibration) বাড়িয়া যায় এবং উষ্ণতাহ্রাসে ব্যাস কমিলে ঐ সময়কাল কমিয়া যায়। এইজন্য উষ্ণতা বৃদ্ধি পাইলে ওয়াচ্ ঘড়ি স্লো চলে এবং উষ্ণতা কমিলে ওয়াচ্ ঘড়ি ফাস্ট চলে। ইহা ছাড়া উষ্ণতা বাড়িলে হেয়ার স্প্রিংয়ের দৃঢ়ত্বও (rigidity) কমিয়া যায় এবং ঐজন্য স্পন্দনকাল বাড়িয়া যাওয়ায় ওয়াচ্ ঘড়িটি আরও স্লো চলে।

(ক) সংশোধিত ক্লক্ দোলক (compensated clock pendulum) হ্যারিসনের লৌহগ্রিড দোলক (Gridiron pendulum) এবং গ্রাহামের পারদ দোলক, এই দুইটি সংশোধিত দোলক এখানে বর্ণিত হইল।



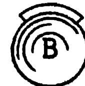
চিত্র ১৭

(১) হ্যারিসনের লৌহগ্রিড দোলক।—কার্য-প্রণালী—AB ও CD দুইটি সমান্তরাল রড (চিত্র ১৭)। রড দুইটি ভিন্ন ভিন্ন ধাতুর নির্মিত। মনে কর, AB ইস্পাতের এবং CD পিতলের। ইহাদের নিম্নভাগ BC-লম্বদণ্ড দ্বারা যুক্ত। A প্রান্ত হইতে দোলকটি ঝুলান হয়। সুতরাং AB রডের এই প্রান্ত আটকানো বলিয়া উষ্ণতাবৃদ্ধি পাইলে, রডটি নীচের দিকে প্রসারিত হয়, এবং CD রড Cতে আটকানো বলিয়া উপর দিকে প্রসারিত হয়। AB রড ও CD রডএর দৈর্ঘ্যের অনুপাত এমনভাবে স্থির করা হয় যাহাতে যে-কোন উষ্ণতাবৃদ্ধির ($t°$) জন্য AB রডের নিম্নদিকে প্রসারণ CD রডের ঊর্ধ্ব দিকে প্রসারণের সমান হয়। তাহা হইলে A হইতে Dর দূরত্ব উষ্ণতার পরিবর্তনে বদলাইবে না। মনে কর, $AB=l$, $CD=l_1$, $\alpha=AB$-বস্তুর রৈখিক প্রসারণের

গুণাঙ্ক এবং $\alpha_1 = CD$-বস্তুর রৈখিক প্রসারণের গুণাঙ্ক। তাহা হইলে ব্যবস্থা যদি এইরূপ করা যায় যে, $l\alpha t = l_1 \alpha_1 t$ হইবে, তাহা হইলে AD দৈর্ঘ্য যে-কোন উষ্ণতা-পরিবর্তনে অপরিবর্তিত থাকিবে। $l \alpha t = l_1 \alpha_1 t$ হইলে, $\frac{l}{l_1} = \frac{\alpha_1}{\alpha}$ হইবে। অর্থাৎ, রডদুইটির দৈর্ঘ্যের অনুপাত উহাদের রৈখিক প্রসারণ-গুণাঙ্কের ব্যস্তানুপাতিক হইবে। ইহাই হ্যারিসনের সংশোধিত দোলকের কার্যনীতি। লক্ষ্য রাখিও যে, এই দোলকের ক্ষেত্রে CD রডের দৈর্ঘ্য কম বলিয়া উহার রৈখিক প্রসারণ-গুণাঙ্ক AB রডের রৈখিক প্রসারণ-গুণাঙ্ক অপেক্ষা বড় হইতে হইবে।

গঠনপ্রণালী।—চিত্র ১৮ দেখ। C হইল দোলকটির কেন্দ্রীয় মূল দোলকদণ্ড। ইহা ইস্পাতনির্মিত। ইহা দ্বারা বব্ B ঝুলান হইয়াছে। ইহার দুই দিকে আরও কতগুলি (সাদা ও কালো চিহ্নিত) সমান্তরাল রড দেখান হইয়াছে। সাদাগুলি (b) পিতলের এবং কালোগুলি (s) ইস্পাতের। কেন্দ্রীয় ইস্পাতের রডের পরে, পিতলের রডের পর ইস্পাতের রড পর পর আছে। প্রত্যেকটি রড পাশের রডটির সহিত একটি ধাতব লম্ব বাট (bar) দ্বারা (চিত্র ১৮তে যেরূপ আছে) যুক্ত। ছবি হইতে বুঝিতে পারিতেছ যে, উষ্ণতাবৃদ্ধি ঘটিলে ইস্পাতের রডগুলি নীচের দিকে এবং পিতলের রডগুলি উপর দিকে, প্রসারিত হইবে (উহাদের অপর প্রান্ত মুক্ত নহে বলিয়া)। মোট ঊর্ধ্ব প্রসারণ মোট নিম্ন প্রসারণের সমান হইলে দোলকের ভারকেন্দ্র সর্বদা একই স্থানে থাকিবে এবং দোলকটির দৈর্ঘ্যে কোন পরিবর্তন আসিবে না। লক্ষ্য রাখিও যে, কেন্দ্রীয় ইস্পাতের রডটির কথা বাদ দিলে উহার উভয় পার্শ্বে ইস্পাতের এবং পিতলের রডগুলি জোড়ায় জোড়ায় আছে।





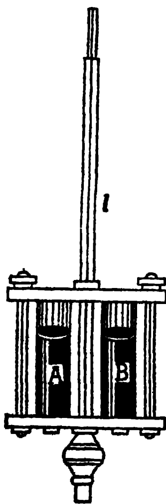
চিত্র ১৮

ধরা যাক্ যে, পিতলের রডের সংখ্যা n। তাহা হইলে, ইস্পাতের রডের সংখ্যা

হইবে $(n+1)$। মনে কর, পিতলের রডের মোট কার্যকর দৈর্ঘ্য (Cর একপার্শ্বের পিতলের রডগুলির মোট দৈর্ঘ্য) $=\frac{n}{2}\times l_2$, [l_2 হইল একটি পিতলের রডের গড় দৈর্ঘ্য]। অনুরূপভাবে, ইস্পাতের একটি রডের মোট কার্যকর দৈর্ঘ্য $=\left(\frac{n}{2}+1\right)l_1$, [$l_1$ হইল একটি ইস্পাতের রডের গড় দৈর্ঘ্য]। উষ্ণতাবৃদ্ধি ঘটিলে পিতলের রড দৈর্ঘ্যে প্রসারিত হইয়া দোলকের ভারকেন্দ্রকে উপরে তুলিতে চাহিবে, কিন্তু ইস্পাতের রড দৈর্ঘ্যে প্রসারিত হইবে নিম্ন দিকে এবং দোলকের ভারকেন্দ্রকে নীচে নামাইতে চাহিবে। এই বিপরীতমুখী প্রসারণ পরস্পরের সমান হইলে, অর্থাৎ

$\left(\frac{n}{2}+1\right)l_1\times\alpha_1\times t=\left(\frac{n}{2}\right)l_2\times\alpha_2\times t$, হইলে, দোলকের সংশোধন-ব্যবস্থা সঠিক হইবে [এখানে t হইল উষ্ণতাবৃদ্ধি, α_1 ইস্পাতের রৈখিক প্রসারণ-গুণাঙ্ক এবং α_2 পিতলের রৈখিক প্রসারণ-গুণাঙ্ক]।

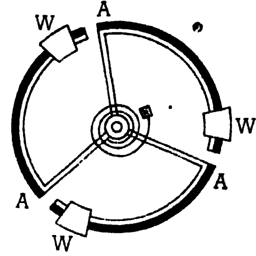
(২) **গ্রাহামের পারদ দোলক।**—ইহাও একটি সংশোধিত দোলক (চিত্র ১৯)। এই দোলকের ববটি (bob) বৈশিষ্ট্যপূর্ণ। ববের ফ্রেমে দুইটি কাঁচের চোঙ (A ও B) আছে। চোঙদুইটি আংশিকভাবে পারদপূর্ণ। উষ্ণতাবৃদ্ধি ঘটিলে দোলকের দণ্ড (l) নিম্ন দিকে প্রসারিত হয়, পারদ প্রসারিত হয় ঊর্ধ্ব দিকে। পারদের পরিমাণ নির্ধারণ করা হয় এমনভাবে যাহাতে যে-কোন উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য দণ্ডের প্রসারণে দোলকের ভারকেন্দ্র যতটুকু নীচে নামে পারদের প্রসারণে দোলকের ভারকেন্দ্র ঠিক ততটুকু উপরে ওঠে। ইহার ফলে যে-কোন উষ্ণতায় দোলকের কার্যকর দৈর্ঘ্য একই থাকিয়া যায় এবং দোলনকাল (time-period) সদা ধ্রুব থাকে।



চিত্র ১৯

(খ) **সংশোধিত ওয়াচ্ ঘড়ির ভারসাম্যচক্র বা ব্যালান্সচক্র।**—ভারসাম্যচক্রের (বা ব্যালান্সচক্রের) পরিধি বা বেড় তৈয়ারি করা হয় দুইটি ধাতুর স্বতন্ত্র দুইটি পাত একত্রে জুড়িয়া। বাহিরের ধাতুটি থাকে এই দুইয়ের মধ্যে অধিকতর প্রসারণশীল। এই

যুগ্ম বেড়টি তিন বৃত্তাংশে বিভক্ত থাকে (চিত্র ২০)। প্রত্যেক অংশের একটি প্রান্ত (A) একটি শলাকার সাহায্যে কেন্দ্রস্থলের সহিত যুক্ত করা থাকে। উষ্ণতাবৃদ্ধি ঘটিলে শলাকার A প্রান্ত বাহিরের দিকে প্রসারিত হয়। কিন্তু বেড়টির বাহিরের ধাতব পাত ভিতরের পাত অপেক্ষা অধিক প্রসারিত হয় বলিয়া বেড়ের মুক্ত প্রান্ত বাঁকিয়া ভিতর দিকে চলিয়া আসে। বেড়ের তিনটি অংশের মুক্ত প্রান্তে স্ক্রু কাটা থাকে। উহার উপর একটি নাট (W) চালনা করা যায়। এই নাট প্রয়োজন অনুযায়ী এদিক-ওদিক সরাইয়া দিলে উষ্ণতাবৃদ্ধিহেতু বেড়ের মাত্রার যে পরিবর্তন (dimensional changes) হয় তাহার জন্য চক্রের স্পন্দনকাল বদলায় না।



চিত্র ২০

Examples

1. A clock with a brass pendulum beats seconds at 0°C. What will be the difference in its rate per day when the temperature is 30°C.? Co-efficient of linear expansion of brass = 0·000019 per °C.

উত্তর: প্রদত্ত সর্তানুসারে $T_{30}=2\pi\sqrt{\frac{L_{30}}{g}}$, এবং $T_0=2\pi\sqrt{\frac{L_0}{g}}$;

এখানে T_{30}=30° সে. উষ্ণতায় দোলকটির দোলনকাল ; T_0=0° সে উষ্ণতায় দোলকটির দোলনকাল ; L_{30}=30° সে. উষ্ণতায় দোলকটির কার্যকর দৈর্ঘ্য ; L_0=0° সে. উষ্ণতায় দোলকটির কার্যকর দৈর্ঘ্য।

$\therefore \frac{T_{30}}{T_0}=\sqrt{\frac{L_{30}}{L_0}}=\sqrt{\frac{L_0(1+\alpha\times 30)}{L_0}}$, এখানে পিতলের রৈখিক প্রসারণের গুণাঙ্ক হইল α।

$=\sqrt{(1+0\cdot000019\times 30)}=1\cdot00028$

0° সে. উষ্ণতায় দোলনকাল, $T_0=2$ সেকেণ্ড। $\therefore$ $T_{30}=1\cdot00028\times 2$।

এক দিন $=24\times 60\times 60=86{,}400$ সেকেণ্ড।

$\therefore$ একদিনে 0° সে.-তে দোলকের পূর্ণ দোলনসংখ্যা হইবে $=\frac{86{,}400}{2}$.

$\therefore$ 30° সে.তে $\frac{86{,}400}{2}$ পূর্ণ দোলন হইতে সময় লাগিবে $=\frac{86{,}400}{2}\times 1\cdot00028\times 2=86{,}424\cdot2$ সেকেণ্ড।

অতএব ঘড়িটি প্রতিদিন (86,424·2−86,400) = 24·2 সেকেণ্ড স্লো যাইবে।

2. *There are five iron rods (average length=1 metre) and four brass rods in a gridiron pendulum. What is the average length of a brass rod?*

Co-eff. of linear exp. of iron$=0{\cdot}000012$ *per* °C

" " " " " *brass*$=0{\cdot}000019$ *per* °C

উত্তর : লোহার রডগুলির মোট কার্যকর দৈর্ঘ্য $3l_1$ হইবে (l_1 একটি রডের গড় দৈর্ঘ্য হইলে) এবং পিতলের রডগুলির মোট কার্যকর দৈর্ঘ্য $2l_2$ হইবে (l_2 একটি রডের গড় দৈর্ঘ্য হইল)। উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য সঠিক সংশোধন ব্যবস্থা করিতে হইলে,

$3l_1 \times 0{\cdot}000012 \times t = 2l_2 \times 0{\cdot}000019 \times t$, ($t$ এক্ষেত্রে উষ্ণতাবৃদ্ধি)।

$\therefore \; l_2 = \frac{3}{2} \times \frac{12}{19} \times l_1 = \frac{18}{19} \times l_1 = \left(\frac{18}{19} \times 1\right)$ মিটার$= \frac{18}{19}$ মিটার।

সুতরাং একটি পিতলের রডের নির্ণেয় গড় দৈর্ঘ্য $= \frac{18}{19}$ মিটার।

২৪। ঘনত্বের পরীক্ষার দ্বারা কোন কঠিন পদার্থের প্রসারণ গুণাঙ্ক নির্ণয় করিবার পদ্ধতি :—উষ্ণতাবৃদ্ধির সঙ্গে বস্তুমাত্রই প্রসারিত হয় (বা উহার আয়তন বাড়িয়া যায়)। বস্তুর ভর কিন্তু একই থাকে এবং ফলে ঘনত্ব (=ভর÷আয়তন) কমিয়া যায়। মনে কর, 0° সে. উষ্ণতায় কোন বস্তুর আয়তন V_0 এবং ঘনত্ব d_0। $t°$ সে. উষ্ণতায় যদি ঐ আয়তন বাড়িয়া V_t হয় এবং ঘনত্ব কমিয়া d_t হয় তবে বস্তুটির ভর অপরিবর্তিত থাকিবে বলিয়া $V_t \times d_t = V_0 \times d_0$, হইবে।

$\therefore \; \frac{d_t}{d_0} = \frac{V_0}{V_t} = \frac{V_0}{V_0(1+\gamma \times t)}$, [γ এখানে কঠিন পদার্থটির ঘন প্রসারণ-গুণাঙ্ক]।

$\therefore \; \frac{d_t}{d_0} = \frac{1}{1+\gamma \times t}$; বা $d_t = \frac{d_0}{1+\gamma \times t} = d_0 (1+\gamma \times t)^{-1}$ ... ... (১)

সমীকরণ (১) কঠিন, তরল ও বায়বীয় সকল পদার্থ সম্বন্ধেই প্রয়োজ্য হইবে।

কঠিন পদার্থ এবং কোন কোন তরল পদার্থের ক্ষেত্রে, সমীকরণ (১)কে $d_t = d_0 (1-\gamma \times t)$.........(২) ধরিলে বিশেষ কোন ভুল হয় না। কারণ, এই দুই পদার্থের ক্ষেত্রে γর মান খুব কম।

সমীকরণ (২) হইতে আরও পাওয়া যায় যে, $\gamma = \frac{d_0 - d_t}{d_0 \times t}$ .. ... (৩)

অতএব পরীক্ষার সাহায্যে 0° সে. উষ্ণতায় ঘনত্ব d_0 এবং $t°$ সে. উষ্ণতায় ঘনত্ব d_t নির্ণয় করিয়া লইলে γর মান নির্ধারণ করা যাইবে।

বাস্তবক্ষেত্রে, $t_1°$ সে. উষ্ণতায় ঘনত্ব d_1 এবং $t_2°$ সে. উষ্ণতায় ঘনত্ব d_2 নির্ণয় করাই সুবিধাজনক। সেক্ষেত্রে,

$$\frac{d_1}{d_2}=\frac{V_2}{V_1}=\frac{V_o(1+\gamma\times t_2)}{V_o(1+\gamma\times t_1)},$$ (V_1 ও V_2 যথাক্রমে $t_1°$ ও $t_2°$তে বস্তুটির আয়তন)

বা, $\frac{d_1}{d_2}=(1+\gamma\times t_2)(1+\gamma t_1)^{-1}=(1+\gamma\times t_2)(1-\gamma\times t_1)$, (প্রায়)

$=1+\gamma\times t_2-\gamma\times t_1$ (প্রায়), [$\gamma^2\times t_2\times t_1$ নগণ্য বলিয়া]

$$\therefore \quad \frac{d_1}{d_2}=1+\gamma(t_2-t_1)\,;\quad \text{বা,}\quad \gamma=\frac{d_1-d_2}{d_2(t_2-t_1)} \qquad \cdots \qquad \cdots \qquad (৪)$$

Examples

1. *The density of a piece of metal at 0°C. is 1·9 gm./c.c. Find its density at 100°C. (Co-efficient of linear expansion=0·00002 per °C.).*

উত্তর : এখানে ২৪ অনুচ্ছেদের সমীকরণ (৩) ব্যবহার করিতে হইবে। ইহা হইল, $\gamma=\frac{d_o-}{d_o\times t}$।

$\gamma=3\alpha=3\times0·00002=0·00006$, প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে ; $d_o=1·9$ গ্রাম, প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে ; $t=100$; $d_t=?$

$\therefore \quad 0·00006=\frac{1·9-d_t}{1·9\times100}$; অথবা, $d_t=1·9-(0·006\times1·9)=1·89$ গ্রাম, প্রতি ঘন সে.মি.তে।

2. *The density of a piece of glass is experimentally found to be 2·6 gm./c.c. at 10°C. and 2·597 gm./c.c. at 60°C. Find the mean co-efficient of expansion of glass between 10°C. and 60°C.*

উত্তর : এক্ষেত্রে কাঁচের ঘন প্রসারণের গুণাঙ্ক নির্ণয় করিবার জন্য অনুচ্ছেদ ২৪এর সমীকরণ (৪) ব্যবহার করিতে হইবে। ইহা হইল, $\gamma=\frac{d_1-d_2}{d_2\times(t_2-t_1)}$।

এখানে $t_2=60°$ সে. ; $t_1=10°$ সে. ; $d_1=2·6$ গ্রাম, প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে ; $d_2=2·597$ গ্রাম, প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে।

তাহা হইলে, $\gamma=\frac{d_1-d_2}{d_2(t_2-t_1)}=\frac{2·6-2·597}{2·597(60-10)}=0·000023$, প্রতি ডিগ্রী সে.তে।

Exercises

1. Two long flat pieces of metals, one of copper and the other of iron, having the same dimensions, are rivetted together to form a composite flat sheet. When this sheet is heated, it bends with its concavity on the side of the iron. Explain the phenomenon.

2. What do you mean when we say that the co-efficient of linear expansion of brass is 0·000019 per °C. ?

3. Define 'co-efficient of linear expansion'. Does it depend on, (i) the unit of length, or (ii) the scale of temperature ?

4. Show that the co-efficients of cubical expansion and superficial expansion of a solid are approximately thrice and twice respectively, of the co-efficient of the linear expansion.

5. What is a compensated pendulum ? Explain the principle of construction of a Harrison's gridiron pendulum and that of a Graham's mercurial pendulum.

6. Describe a compensated balance wheel, giving a schematic diagram.

7. The length of a copper rod at 10°C. is 200·34 inches. Find its length at 100 °C. Mean co-efficient of linear expansion of copper is 0·000017 per °C. উত্তর : 200·65 ইঞ্চি (প্রায়) ।

8. A brass rod is 100·019 cm. long at 10°C. and 100·19 cm. at 100°C. Find the mean co-efficient of linear expansion of brass between 10°C. and 100°C. উত্তর : 0·000019, প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে ।

9. The volume of a piece of glass at 0°C. is 100 c.c., and at 100°C. it is 100·258 c.c. Find the mean co-efficient of cubical expansion of glass. উত্তর : 0·0000026, প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে ; 0·0000086, প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে ।

10. A steel scale measures 100·0165 cm. at 15°C. At what temperature does it measure exactly one metre ? Co-efficient of linear expansion of steel = 0·000011 per °C. উত্তর : 0° সে. উষ্ণতায় ।

11. Find the mass of a cubic centimetre of silver at 250°C., the density of silver at 0°C., being 10·31 gm./c.c., co-efficient of linear expansion of silver = 0·000019 per °C. উত্তর : 18·163 গ্রাম ।

12. A sheet of brass is 50 cm. long and 10 cm. broad at 0°C. ; the area of the surface increases by 1·9 sq. cm. at 100°C. Find the co-efficient of linear expansion of brass. উত্তর : 19×10^{-6}, প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে ।

13. The volume of a lead bullet at 0°C. is 25 c.c. The volume increases at 98°C. by 0·021 c.c. Find the co-efficient of linear expansion of lead. উত্তর : $2·86 \times 10^{-6}$, প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে ।

14. An iron clock pendulum makes 86,405 swings per day; at the end of a day the clock loses 10 seconds. Find the change in temperature. Co-efficient of linear expansion of iron = 0·0000117 per °C. উত্তর : 19·8° সে. (প্রায়)।

15. A clock which keeps correct time at 25°C. has a pendulum rod made of brass. How many seconds will it gain or lose per day when the temperature falls to the freezing point of water. Co-efficient of linear expansion of brass = 0·000019 per °C. উত্তর : 20·52 সেকেণ্ড (প্রায়)।

16. A steel scale reads exact millimetres at 0°C. The length of a platinum wire measured by this scale is 621 mm. when the temperature of both of them is 17°C. Find the exact length in millimetres of the platinum wire. What would be the exact length of the wire at 0°C.? α for steel = 0·000012/°C.; α for platinum = 0·000008/°C. উত্তর : 621·127 মি.মি. (প্রায়); 621·042 মি.মি., (প্রায়)।

17. A man wishes to fit an aluminium ring on a steel rod of one inch diameter but it is 0·001 inch too small in diameter. How much should its temperature be raised before it will just slip on? Co-efficient of linear expansion of aluminium = 0·000025 per °C. and the co-efficient of linear expansion of steel = 0·000010 per °C. উত্তর : 40° সে.।

18. In the preceding problem, the man wishes to remove the aluminium ring again. Now he has to heat both the metals together. Through how many degrees must this be done? উত্তর : 66·7° সে.।

19. The height of a barometer appears to be 76·4 cm. according to a brass scale which is correct at 0°C. If the temperature at the time of reading is 30°C., what is the actual height of the mercury column? Co-efficient of linear expansion of brass = 0·0000189 per °C. উত্তর : 76·44 সে.মি.।

20. Railway lines are laid with gaps to allow for expansion. If the gap between iron lines 66 ft. long is 0·5 inch at 10°C., at what temperature will the lines just touch? α for iron = 11×10^{-6}, per °C. উত্তর : 67·3° সে.।

তৃতীয় পরিচ্ছেদ

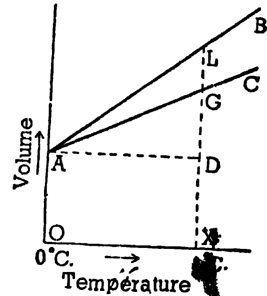
তরল পদার্থের তাপজনিত আয়তনবৃদ্ধি বা ঘন প্রসারণ

২৫। তরল পদার্থের তাপজনিত আয়তনবৃদ্ধি বা ঘন প্রসারণ (Expansion or dilatation of liquids) :—তরল পদার্থের নির্দিষ্ট ভরের নির্দিষ্ট আয়তন আছে কিন্তু কোন নির্দিষ্ট আকার নাই। উহা কোন পাত্রে রাখিলে ঐ পাত্রেরই আকার ধারণ করে। উত্তপ্ত করিলে কঠিন পদার্থ প্রসারিত হয়, তরল পদার্থও প্রসারিত হয়। কিন্তু তরল পদার্থের নিজস্ব কোন আকার না থাকায় ইহার রৈখিক বা তল-প্রসারণের কথা অর্থহীন। তাই কেবলমাত্র আয়তন বা ঘন প্রসারণের কথাই জানাই দরকার।

২৬। তরল পদার্থের প্রকৃত ও আপাত ঘন প্রসারণ (Real and apparent expansion of a liquid) :—কোন তরল পদার্থকে আধারের মধ্যে না রাখিয়া সরাসরি উত্তপ্ত করা সম্ভবপর নয়। তাই উহার প্রসারণও সরাসরি মাপা সম্ভবপর নয়। তরল পদার্থকে কোন না কোন পাত্রে রাখিতেই হইবে এবং পাত্র ও *তরল পদার্থকে একত্রেই উত্তপ্ত করিতে হইবে। ফলে, পাত্রও তরল পদার্থের সঙ্গে সঙ্গে প্রসারিত হইবে। সাধারণতঃ তরল পদার্থের প্রসারণ* উহার আধার পাত্রের প্রসারণ অপেক্ষা অনেক বেশী হইয়া থাকে। কিন্তু যত কমই হউক না কেন আধার পাত্রের প্রসারণের প্রকৃত অস্তিত্ব থাকিবেই। এইজন্য তরল পদার্থ উষ্ণতাবৃদ্ধি ঘটিলে প্রকৃতপক্ষে যতটা প্রসারিত হয় তাহা অপেক্ষা কম আমাদের চোখে ধরা পড়ে। যদি এমন হয় যে পাত্রের প্রসারণ তরল পদার্থের প্রসারণের সমান সমান, তাহা হইলে, উত্তপ্ত হওয়া সত্ত্বেও তরল পদার্থ প্রসারিত হইতেছে না বলিয়া বোধ হইবে। পাত্রের প্রসারণ তরল পদার্থের প্রসারণ অপেক্ষা অধিক হইলে উত্তপ্ত হইয়া তরল পদার্থের সংকোচন ঘটিয়াছে বা উহার আয়তন হ্রাস পাইয়াছে বলিয়া মনে হইবে। উষ্ণতা-পরিবর্তনে আধারস্থ তরল পদার্থের যেটুকু আয়তন পরিবর্তন আমরা চোখে দেখিতে পাই তাহাকে তরল ও আধার জুটি'র **আপাত প্রসারণ** বলা হয়। আর, তরলটির আয়তন সত্য সত্যই যতটা পরিবর্তিত হয় তাহাকে উহার **প্রকৃত প্রসারণ** বলা হয়।

তরল পদার্থের আপাত প্রসারণ (apparent expansion)=**প্রকৃত প্রসারণ** (real expansion)−**পাত্রের প্রসারণ** (expansion of vessel).—

মনে কর, কোন পাত্রে তরল পদার্থ রাখা হইয়াছে। পাত্র ও তরলের উষ্ণতা 0° সে.। এখন ইহাদের উত্তপ্ত করিয়া $t°$ সে. উষ্ণতায় তোলা হইল। চিত্র ২১এর লেখটি দেখ। x-অক্ষ ধরিয়া উষ্ণতা নির্দেশিত হইয়াছে এবং y-অক্ষ ধরিয়া নির্দেশিত হইয়াছে আয়তন। পাত্রের ও তরল পদার্থের প্রসারণ স্বতন্ত্র দুইটি লেখ-র সাহায্যে দেখানো হইয়াছে। মনে কর যে, 0° সে. উষ্ণতায় তরল পদার্থ ও পাত্র উভয়ের আয়তনই OA দ্বারা সূচিত হইতেছে। উষ্ণতা বাড়িবার সঙ্গে সঙ্গে পাত্রটির আয়তন আনুপাতিকভাবে বাড়িয়া যাইবে ধরিয়া লইলে পাত্রের প্রসারণ AC সরলরেখা-দ্বারা সূচিত হইবে। চিত্র অনুযায়ী, $t°$ সে. উষ্ণতায় পাত্রটির আয়তন হইবে XG। তরল পদার্থটির আয়তনও উষ্ণতাবৃদ্ধির সহিত আনুপাতিভাবে বাড়িয়া যাইবে ধরিয়া লইলে AB সরলরেখা-দ্বারা উহার প্রসারণ সূচিত হইবে। $t°$. সে. উষ্ণতায় তরল পদার্থটির আয়তন হইবে XL। Xএর মধ্যে দিয়া টানা খাড়া সরলরেখা ($XDGL$) Aর মধ্য দিয়া টানা অনুভূমিক সরলরেখাকে (AD) D-বিন্দুতে ছেদ করিয়াছে। সুতরাং $t°$ সে. উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য তরল পদার্থটির প্রকৃত প্রসারণ DL এবং $t°$ সে. উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য পাত্রটির নিজস্ব আয়তনবৃদ্ধি হইল DG। অতএব তরল পদার্থটির আপাত প্রসারণ হইল GL। এই প্রসারণই দর্শকের চোখে ধরা পড়িবে। এখানে,



চিত্র ২১

$$DL = DG + GL\text{।}$$

সুতরাং তরল পদার্থের প্রকৃত প্রসারণ (DL)=তরল পদার্থের আপাত প্রসারণ (GL)+পাত্রের প্রসারণ (DG)।

অর্থাৎ, তরল পদার্থের আপাত প্রসারণ=(তরল পদার্থের প্রকৃত প্রসারণ)−(পাত্রের প্রসারণ) ... ... (১)

২৭। তরল পদার্থের প্রসারণ গুণাঙ্ক :—

(ক) তরল পদার্থের প্রকৃত প্রসারণ-গুণাঙ্ক (Coefficient of real expansion of a liquid).—এক ডিগ্রী উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য কোন নির্দিষ্ট ভরের তরল

পদার্থের আয়তনের প্রকৃত প্রসারণ এবং 0° সে. উষ্ণতায় উক্ত তরল পদার্থের আয়তন, ইহাদের অনুপাতই হইল তরল পদার্থের প্রকৃত প্রসারণের গুণাঙ্ক। মনে কর, γ_r হইল প্রকৃত প্রসারণের গুণাঙ্ক, V_0 হইল 0° সে. উষ্ণতায় কোন নির্দিষ্ট ভরের তরল পদার্থের আয়তন এবং v_r হইল t° উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য উক্ত তরল পদার্থের মোট আয়তনবৃদ্ধি। তাহা হইলে, তরল পদার্থটির গড় প্রকৃত প্রসারণ-গুণাঙ্ক

$$\gamma_r = \frac{t^\circ \text{ উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য তরল পদার্থটির মোট আয়তনবৃদ্ধি}}{(0^\circ \text{ সে. উষ্ণতায় তরল পদার্থটির প্রারম্ভিক আয়তন}) \times t}, \text{ প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে}$$

বা প্রতি ডিগ্রী ফারেনহাইটে, [γ_r-এর একক স্পষ্টতঃই t-র এককের উপর নির্ভর করিবে]

$$= \frac{v_r}{V_0 \times t}, \text{ প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে বা প্রতি ডিগ্রী ফারেনহাইটে।}$$

(খ) তরল পদার্থের আপাত প্রসারণের গুণাঙ্ক (Coefficient of apparent expansion of a liquid).—এক ডিগ্রী উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য কোন নির্দিষ্ট ভরের তরল পদার্থের আয়তনের আপাত প্রসারণ এবং 0° সে. উষ্ণতায় উক্ত তরল পদার্থের আয়তন, ইহাদের অনুপাতই হইল তরল পদার্থটির আপাত প্রসারণের

মনে কর, γ_a হইল আপাত প্রসারণের গুণাঙ্ক, V_0 হইল 0° সে উষ্ণতায় কোন নির্দিষ্ট ভরের তরল পদার্থের আয়তন এবং v_a হইলে t° উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য উক্ত তরল পদার্থের আয়তনের আপাত প্রসারণ। তাহা হইলে তরল পদার্থটির গড় আপাত প্রসারণ-গুণাঙ্ক,

$$\gamma_a = \frac{t^\circ \text{ উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য মোট আপাত আয়তনবৃদ্ধি}}{0^\circ \text{ সে. উষ্ণতায় তরল পদার্থটির প্রারম্ভিক আয়তন} \times t}, \text{ প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে}$$

বা প্রতি ডিগ্রী ফারেনহাইটে, [γ_a-র একক স্পষ্টতঃই t-র এককের উপর নির্ভর করিবে]

$$= \frac{v_r}{V_a \times t}, \text{ প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে বা ফারেনহাইটে}$$

বিশেষ দ্রষ্টব্য : উষ্ণতাবৃদ্ধিজনিত আয়তন-প্রসারণ সকল তরল পদার্থের ক্ষেত্রেই খুব কম বলিয়া 0° সে. উষ্ণতার আয়তনের পরিবর্তে অন্য যে-কোন প্রারম্ভিক উষ্ণতার আয়তন ঐ স্থলে গ্রহণ করিলে, γ_r বা γ_a-র মানে কোন উল্লেখযোগ্য রদবদল হয় না।

তাহা হইলে, গড় প্রকৃত প্রসারণ-গুণাঙ্ক

$$\gamma_r = \frac{\text{মোট প্রকৃত আয়তনবৃদ্ধি}}{\text{প্রারম্ভিক আয়তন} \times \text{উষ্ণতাবৃদ্ধি}}$$, প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে বা ফারেনহাইটে এবং

গড় আপাত প্রসারণ-গুণাঙ্ক $= \frac{\text{মোট আপাত আয়তনবৃদ্ধি}}{\text{প্রারম্ভিক আয়তন} \times \text{উষ্ণতাবৃদ্ধি}}$, প্রতি ডিগ্রী সে.তে বা ফা.তে।

(গ) γ_r ও γ_aর **সম্পর্ক।**—V আয়তনের কোন তরল পদার্থের উষ্ণতা $t°$ বাড়াইলে উহার প্রকৃত আয়তনবৃদ্ধি হইবে $V \times \gamma_r \times t$ এবং উহার আপাত আয়তনবৃদ্ধি হইবে $V \times \gamma_a \times t$। আধার পাত্রের আয়তনবৃদ্ধি হইবে $V \times \gamma \times t$, (γ এখানে আধারের আয়তন প্রসারণের গুণাঙ্ক)।

আমরা জানি, প্রকৃত আয়তনবৃদ্ধি = আপাত আয়তনবৃদ্ধি + পাত্রের আয়তনবৃদ্ধি। তাহা হইলে, $V \times \gamma_r \times t = V \times \gamma_a \times t + V \times \gamma \times t$;

বা, $\gamma_r = \gamma_a + \gamma$ ... ... (১)

অর্থাৎ, প্রকৃত প্রসারণ-গুণাঙ্ক = আপাত প্রসারণ গুণাঙ্ক + পাত্রের পদার্থের আয়তন-প্রসারণের গুণাঙ্ক।

২৮। উষ্ণতার পরিবর্তনে তরল পদার্থের ঘনত্বের পরিবর্তন :—

ঘনত্ব = ভর ÷ আয়তন।

মনে কর যে, m গ্রাম ভরের এক তরল পদার্থ $0°$ সে. উষ্ণতায় v ঘন সে.মি. আয়তন জুড়িয়া থাকে। অতএব ইহার $0°$ সে.-তে ঘনত্ব, $d_0 = \frac{m}{v_0}$ গ্রাম, প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে ... ... (১)

ঐ একই ভরের তরল পদার্থ $t°$ সে.-তে v_t আয়তন লাভ করিলে $t°$ সে. উষ্ণতায় ইহার ঘনত্ব $d_t = \frac{m}{v_t}$ গ্রাম, প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে ... (২)

কিন্তু, $v_t = v_0(1 + \gamma_r \times t)$ ... ... (৩)

সমীকরণ (১), (২) ও (৩) হইতে, $\frac{d_0}{d_t} = \frac{v_t}{v_0} = \frac{v_0(1 + \gamma_r \times t)}{v_0} = (1 + \gamma_r \times t)$।

$$\therefore \quad d_o = d_t(1+\gamma_r \times t) \quad \cdots \quad \cdots \quad (৪)$$

অথবা, $$d_t = \frac{d_o}{1+\gamma_r \times t} = d_o(1-\gamma_r \times t), \text{(প্রায়)} \quad \cdots \quad (৫)$$

$$\therefore \quad \gamma_r = \frac{d_o - d_t}{d_o \times t} \text{ (প্রায়)} \quad \cdots \quad \cdots \quad (৬)$$

২৯। **তরল পদার্থের প্রসারণ-গুণাঙ্ক নির্ণয় ঃ**—সরাসরি পরীক্ষা চালাইয়া কোন তরল পদার্থের আপাত প্রসারণ-গুণাঙ্ক নির্ণয় করা অপেক্ষাকৃত সহজ, কিন্তু প্রকৃত প্রসারণ-গুণাঙ্ক নির্ণয় করা তত সহজ নয়। ডুলং ও পেটিট্ এবং রেঁনো তাঁহাদের ইতিহাস-বিখ্যাত পরীক্ষাগুলির সাহায্যে অতি নিখুঁতভাবে পারদের প্রকৃত প্রসারণ-গুণাঙ্ক নির্ণয় করিয়াছেন (0·0001815, প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে)। পারদের প্রকৃত প্রসারণ-গুণাঙ্ক জানা থাকিলে অন্য কোন তরল পদার্থের প্রকৃত প্রসারণ-গুণাঙ্ক নিম্নলিখিত পদ্ধতির সাহায্যে সহজেই বাহির করা যায় :—

প্রথমতঃ, পরীক্ষার সাহায্যে কোন পাত্রের পদার্থের তুলনায় পারদের আপাত প্রসারণ-গুণাঙ্ক নির্ণয় কর।

পারদের প্রকৃত প্রসারণ-গুণাঙ্ক হইতে এই পরীক্ষা দ্বারা লব্ধ আপাত প্রসারণ-গুণাঙ্ক বিয়োগ করিলে পাত্রটির পদার্থের আয়তন-প্রসারণের গুণাঙ্ক পাওয়া যাইবে। তারপর প্রদত্ত তরল পদার্থটি এই একই পাত্রে রাখিয়া উহার আপাত প্রসারণ-গুণাঙ্ক নির্ণয় কর। এই আপাত প্রসারণ-গুণাঙ্কের সহিত পাত্রের পদার্থের আয়তন-প্রসারণের গুণাঙ্ক যোগ করিলে প্রদত্ত তরল পদার্থের প্রকৃত প্রসারণ-গুণাঙ্ক পাওয়া যাইবে।

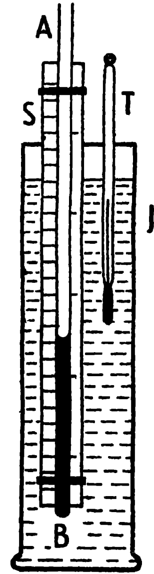
আজকাল সিলিকা বা কোয়ার্‌জের তৈয়ারি পাত্র পাওয়া যায়। এই সমুদয় পাত্র উত্তপ্ত হইলে প্রসারিত হয় না বলিলেই চলে। অতএব এইরূপ পাত্রের মধ্যে তরল পদার্থ রাখিয়া আপাত প্রসারণ ও প্রকৃত প্রসারণ-গুণাঙ্ক নির্ণয় করিলে একই রাশি পাওয়া যাইবে, অর্থাৎ উহারা একই হইবে।

তরল পদার্থের আপাত প্রসারণ-গুণাঙ্ক নির্ণয়ের পরীক্ষা।—তরল পদার্থের প্রসারণ-গুণাঙ্ক নির্ণয়ে প্রারম্ভিক আয়তন হিসাবে 0° সে. উষ্ণতার আয়তন গ্রহণ না করিয়া যে-কোন সুবিধাজনক উষ্ণতার (যেমন লেবরেটরির উষ্ণতা) আয়তন গ্রহণ করিলে যে বিশেষ কোন ভুল হয় না তাহা পূর্বেই বলা হইয়াছে। অবশ্য আয়তনবৃদ্ধি

কোন্ উষ্ণতায় বা উষ্ণতার কোন্ পাল্লার (range) মধ্যে ঘটিতেছে তাহা সুস্পষ্টভাবে লিপিবদ্ধ করিয়া রাখা দরকার।

(ক) একটি সরল পরীক্ষা.*—এই পরীক্ষাটির সাহায্যে আপাত প্রসারণ-গুণাঙ্কের মান মোটামুটিভাবে নির্ণয় করা যায়।

পরীক্ষা.—AB একটি সমপ্রস্থচ্ছেদের কাঁচের নল (চিত্র ২২)। ইহার নীচের মুখ (B) বন্ধ ও উপরের মুখ (A) খোলা। নলটির দৈর্ঘ্য অর্ধ-মিটারের মত এবং আভ্যন্তরীণ ব্যাস আনুমানিক 3 মিলিমিটার হইলে ভাল হয়। ইহাকে পরীক্ষণীয় তরল পদার্থ দ্বারা আংশিক-ভাবে পূর্ণ করা হয়। নলটিকে সুতা দিয়া একখানি সরল স্কেল (S)এর সহিত বাঁধিয়া দেওয়া হয়। এখন এই জুটি-কে আংশিক জলপূর্ণ একটি উঁচু পাত্রের (J) ভিতর ডুবাইয়া দেওয়া হয়। AB নলের মধ্যস্থ তরল পদার্থের পৃষ্ঠ যেন J পাত্রের জলপৃষ্ঠের অনেক নীচে থাকে। একটি থার্মোমিটারের (T) সাহায্যে পাত্রের জলের উষ্ণতা নির্ণয় করা হয়। প্রারম্ভিক উষ্ণতায় (এই উষ্ণতার পাঠ থার্মোমিটারটি হইতে লওয়া হয়) AB নলের মধ্যস্থ তরল পদার্থের পৃষ্ঠের উচ্চতা স্কেল Sর পাঠ হইতে লওয়ার পর পাত্র J-র জলের উষ্ণতা বাড়ান হয়। উষ্ণতা স্থির হইলে, এই বর্ধিত উষ্ণতার পাঠ থার্মোমিটার হইতে লইতে হয়। এখন এই বর্ধিত উষ্ণতায় AB নলের মধ্যস্থ তরল শীর্ষের পরিবর্তিত উচ্চতা স্কেল Sএর সাহায্যে আবার নির্ণয় করিতে হয়। অবশ্য লক্ষ্য রাখিতে হইবে যে, তরল শীর্ষের উচ্চতা স্থির হইয়াছে কি-না। না হইয়া থাকিলে উষ্ণতা স্থির হইয়াছে বলা যাইবে না।



চিত্র ২২

আংকিক হিসাব.—মনে কর যে, t_1° সে. উষ্ণতায় নলের মধ্যস্থ তরল স্তম্ভের উচ্চতা (বা দৈর্ঘ্য) হইল L_1 এবং t_2° সে.তে ঐ দৈর্ঘ্য বর্ধিত হইয়া হইল L_2। নলটির

* এই পরীক্ষাটি ছাত্রদিগকে ক্লাসে দেখাইবার পক্ষে বেশ উপযোগী।

প্রস্থচ্ছেদ বরাবর α হইলে আমরা বলিতে পারি যে, $(t_2 - t_1)^\circ$ উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য তরল পদার্থের আয়তনবৃদ্ধির পরিমাণ হইল $(L_2 - L_1)\alpha$।

$$\text{সুতরাং, } \gamma_a = \frac{\text{তরল পদার্থের আপাত আয়তনবৃদ্ধি}}{\text{প্রারম্ভিক আয়তন} \times \text{উষ্ণতাবৃদ্ধি}}$$

$$= \frac{(L_2 - L_1)\alpha}{(L_1 \times \alpha)(t_2 - t_1)}, \text{ প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে}$$

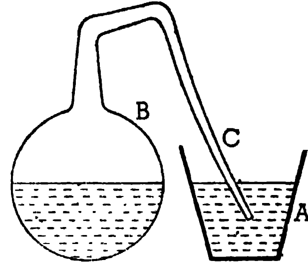
$$= \frac{(L_2 - L_1)}{L_1(t_2 - t_1)}, \text{ প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে।}$$

(খ) ওজন-থার্মোমিটার (Weight Thermometer) দ্বারা।—এই পদ্ধতি ব্যাপকভাবে কাজে লাগান হইয়া থাকে। ওজন-থার্মোমিটার একটি কাঁচের বাল্‌ব বিশেষ। ইহার মুখের নল ক্রমে সরু করিয়া শেষ প্রান্ত সূচীমুখের মত করা হয়। তারপর ঐ নল বাঁকাইয়া রাখা হয়। চিত্র ২৩এ B হইল একটি ওজন-থার্মোমিটারের বাল্‌ব এবং C উহার সূচমুখবিশিষ্ট নল।

[এই যন্ত্র তৈয়ারি করার পদ্ধতি—একটি মাঝারি রকমের মোটা ভাল কাঁচের নল লও। অ্যাসিড ও কোহল দ্বারা পর পর ইহা ধুইয়া পরিষ্কার কর। শেষ পর্যন্ত পাতনশুদ্ধ (distilled) জল দ্বারা নলটি ধোও। গরম হাওয়া নলের ভিতর দিয়া চালাইয়া নলটিকে ভাল করিয়া শুকাইয়া লও। তারপর প্রথমতঃ একপ্রান্তে একটি বাল্‌ব (B) ব্লো কর। তারপর অন্য প্রান্ত গরম করিয়া টানিয়া ক্রমে সরু করিয়া শেষ পর্যন্ত মুখ সূচীমুখের মত কর। সামান্য গরম করিয়া তারপর নলটিকে প্রয়োজনমত বকের আকারে (চিত্র ২৩) বাঁকাইয়া দাও]

প্রথমে শুষ্ক এবং শূন্য অবস্থায় ওজন-থার্মোমিটারটি লেবরেটরির তুলায় মাপ। মনে কর, এই ওজন হইল ω গ্রাম। তাহার পর পরীক্ষাধীন তরল পদার্থ দ্বারা ওজন-থার্মোমিটারটি সম্পূর্ণ ভর্তি কর। এই ভর্তি করার কাজটি সাধারণভাবে করা যায় না। থার্মোমিটারটির মুখ (C) কোন পাত্রে (A) ঐ তরল পদার্থ রাখিয়া উহাতে ডুবাইয়া ধর। তারপর থার্মোমিটারের বাল্‌বটিকে ক্রমপর্যায়ে একবার গরম ও একবার ঠাণ্ডা করিয়া (সাধারণ থার্মোমিটার যেভাবে তরলপূর্ণ করা হয় ঐরূপে) উহাকে এই তরল পদার্থ-

দ্বারা পূর্ণ কর। এবার C মুখ A পাত্রের তরলে ডুবাইয়া রাখিয়া B বাল্‌বটিকে জলে (অর্থাৎ লেবরেটরির উষ্ণতায়) ডুবাইয়া ধর। ইহা করা দরকার এজন্য যে, B বাল্‌বের তরল পদার্থের উষ্ণতা যেন লেবরেটরির উষ্ণতার সমান হয় এবং এই উষ্ণতায় যতটা তরল বাল্‌ব ভর্তি করার জন্য প্রয়োজন ততটা বাল্‌বের মধ্যে থাকে। পাত্রের জলের উষ্ণতা (t°_1 সে.) একটি সাধারণ পারদ থার্মোমিটারের সাহায্যে মাপ। তারপর বাল্‌বের গাত্রের জল ভাল করিয়া মুছিয়া লইয়া তরল-ভরা ওজন-থার্মোমিটারটি (ω_1 গ্রাম) তুলায় মাপ।



চিত্র ২৩

অতঃপর বাল্‌বটিকে তুলিয়া লইয়া একটি গরম জলের পাত্রে ডুবাও। নলের মুখ C যেন পাত্রের বাহিরে থাকে। এই জলের উষ্ণতা 60°-70°র মত হইলে ভাল হয়। মনে কর, ইহা হইল t_2° সে.। এই উষ্ণতাও সাধারণ থার্মোমিটারটির দ্বারা নির্ণয় কর। এই উষ্ণতা স্থির রাখিবার জন্য পাত্রের তলায় তাপ দাও এবং একটি আন্দোলক-কাঠি (stirrer) দ্বারা আলোড়িত করিয়া জলের উষ্ণতা সর্বত্র সমান রাখিতে চেষ্টা কর। ইহার উদ্দেশ্য হইল বাল্‌ব ও উহার মধ্যস্থ তরল যেন সর্বত্র t_2° সে. উষ্ণতা প্রাপ্ত হয়। t_1° সে. হইতে t_2° সে. পর্যন্ত উষ্ণতাবৃদ্ধি হওয়াতে তরল প্রসারিত হইবে এবং ইহার কিছুটা ক্রমে বাল্‌ব হইতে বাহির হইয়া যাইবে। এই বহিষ্কৃত তরলের শেষ বিন্দু পর্যন্ত একটি পাত্রে ধরিয়া রাখ। এরপর ওজন-থার্মোমিটারটিকে খানিকক্ষণ জলে ডুবাইয়া রাখ যাহাতে পুনরায় উহা লেবরেটরির উষ্ণতায় ফিরিয়া আসে। ওজন-থার্মোমিটারটির মধ্যস্থ তরলপদার্থ পুনরায় t_1° সে. উষ্ণতা প্রাপ্ত হইলে সংকুচিত হইবে এবং ইহার আয়তন এখন বাল্‌বের আয়তন হইতে কম হইবে। বাল্‌বের গাত্র জলশূন্য করিয়া মুছিয়া অবশিষ্ট তরলসহ বাল্‌বটির এখন আবার ওজন (ω_2 গ্রাম) লও।

আংকিক হিসাব.—

t_1° সে উষ্ণতায় ওজন-থার্মোমিটারের মধ্যস্থ তরলের ভর

$$=\omega_1-\omega=m_1 \text{ গ্রাম।}$$

আবার, t_2° সে. উষ্ণতায় ঐ থার্মোমিটারের মধ্যস্থ তরলের ভর

$$= \omega_2 - \omega = m_2 \text{ গ্রাম।}$$

ওজন-থার্মোমিটারের আধারের প্রসারণ উপেক্ষা করিলে এইরূপ বলা যায় যে, t_1° সেন্টিগ্রেডে m_1 গ্রাম তরলের আয়তন $=t_2$° সেন্টিগ্রেডে m_2 গ্রাম তরলের আয়তন।

মনে কর যে, t_1° সেন্টিগ্রেডে তরল পদার্থটির ঘনত্ব হইল δ (গ্রাম, প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে)। অতএব t_1° সেন্টিগ্রেডে m_1 গ্রাম তরল পদার্থের আয়তন $=\frac{m_1}{\delta}$ ঘন সে.মি. $=t_2$° সেন্টিগ্রেডে m_2 গ্রাম তরল পদার্থের আয়তন। অতএব আমরা বলিতে পারি যে, m_2 গ্রাম তরল পদার্থকে t_1° সে. হইতে t_2° সে.তে তুলিলে ইহার আয়তন $\frac{m_2}{\delta}$ ঘন সে.মি. হইতে বাড়িয়া $\frac{m_1}{\delta}$ ঘন সে.মি. হয়, অর্থাৎ তরল পদার্থটির আপাত প্রসারণের গুণাঙ্ক,

$$\gamma_a = \frac{m_1/\delta - m_2/\delta}{(m_2/\delta)\times(t_2 - t_1)} = \frac{m_1 - m_2}{m_2(t_2 - t_1)} \quad \cdots \quad \cdots \quad (১)$$

$$= \frac{\text{বহির্গত তরল পদার্থের ভর}}{\text{অবশিষ্ট তরল পদার্থের ভর} \times \text{উষ্ণতাবৃদ্ধি}}$$

মন্তব্য : (১) এই পরীক্ষায় আয়তন-প্রসারণের গুণাঙ্কনির্ণয়ের জন্য আয়তন না মাপিয়া ওজন মাপা হয়। এইজন্যই ইহার নাম ওজন-থার্মোমিটার পদ্ধতি।

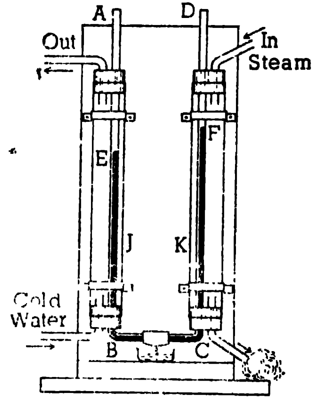
(২) তরল পদার্থটির আপাত প্রসারণ-গুণাঙ্ক জানা থাকিলে এই পরীক্ষার পদ্ধতিতে কোন অজানা উষ্ণতা নির্ণয় করা সম্ভব হয়। এইজন্যই এই যন্ত্রটিকে থার্মোমিটার বলা হয়।

(৩) সমীকরণ (১) হইতে যেন এই ভ্রান্ত ধারণার উদ্ভব না হয় যে উষ্ণতাবৃদ্ধি হওয়াতে ভরবৃদ্ধি পাইয়া তরল পদার্থ বহিষ্কৃত হইয়াছে।

৩০। তরল পদার্থের প্রকৃত প্রসারণ-গুণাঙ্ক নির্ণয় :—পারদের প্রকৃত প্রসারণ-গুণাঙ্ক জানা থাকিলে অন্য যে-কোন তরল পদার্থের প্রকৃত প্রসারণ-গুণাঙ্ক কিভাবে নির্ণয় করা যায় তাহা পূর্বেই বলা হইয়াছে। এখন পারদের প্রকৃত প্রসারণ-গুণাঙ্ক নির্ণয়ের দুইটি পদ্ধতির বিবরণ দেওয়া হইতেছে।

১) **ডুলং ও পেটিট্ (Dulong and Petit)এর পদ্ধতিতে পারদের প্রকৃত প্রসারণ-গুণাঙ্ক নির্ণয় করা।—কার্যনীতি।**—দুইটি খাড়া নল নিম্ন প্রান্তে একটি অনুভূমিক নল দ্বারা যুক্ত হইলে এবং এই নলসমূহে কোন তরল পদার্থ লওয়া হইলে তরল পদার্থের সুস্থির অবস্থায় একটি খাড়া নলের নিম্ন প্রান্তে তরলের চাপ অন্য খাড়া নলটির নিম্ন প্রান্তে তরলের চাপের সমান হইবে।

যন্ত্র।—$ABCD$ একটি U-আকৃতির নল (চিত্র ২৪)। AB ও CD এই নলের খাড়া দুই বাহু এবং অনুভূমিক অংশ BC ঐ খাড়া দুই বাহুকে যুক্ত করিয়াছে। BC অংশের মধ্যভাগে একটি ব্লটিং কাগজ জড়ান আছে। ইহা সর্বদা জল দিয়া ভিজাইয়া রাখা হয়। নলটির খাড়া দুই বাহু (AB ও CD) দুইটি জ্যাকেটের মধ্যে (যথাক্রমে J এবং K) থাকে। প্রত্যেক জ্যাকেটেরই একটি আগমপথ ও একটি নির্গমপথ আছে। একটি কাঠের ফ্রেমে যন্ত্রটিকে খাড়াভাবে ধৃত অবস্থায় রাখা হয় (চিত্র ২৪এ যেমন আছে)। জ্যাকেটের প্রায় মাথা পর্যন্ত U-নলের মধ্যে পারদ থাকে।



চিত্র ২৪

AB-বাহুর জ্যাকেটের তলার মুখ দিয়া বরফশীতল (ice-cold) জল প্রবেশ করান হয় এবং উপরের মুখ দিয়া ঐ জল বাহির হইয়া আসে। এইভাবে ইহার উষ্ণতা 0° সে.তে রাখা হয়। CD-বাহুর জ্যাকেটের উপরের মুখ দিয়া স্টীম প্রবেশ করান হয় এবং নীচের মুখ দিয়া উহা বাহির হইয়া আসে। ইহা দ্বারা এই বাহুর উষ্ণতা সর্বদা স্টীমের উষ্ণতার সমান রাখার চেষ্টা করা হয়। ব্লটিং কাগজের প্যাড্‌টি সব সময় জলে সিক্ত রাখার ফলে উহার দুই প্রান্তের উষ্ণতা সমান বলিয়া পারদ BC নলের একপ্রান্ত হইতে অন্য প্রান্তে চলাচল করিতে পারে না। উষ্ণতর বাহুর পারদসূত্রের (CF) প্রসারণ বেশি বলিয়া উহার উচ্চতা অপর বাহুর পারদসূত্রের (BE) উচ্চতা অপেক্ষা বেশি।

আংকিক হিসাব।—

মনে কর, বাম দিকের খাড়া নলের শীতল পারদস্তম্ভের উচ্চতা $(BE)=h_0$;

ডান দিকের খাড়া নলের উত্তপ্ত পারদস্তম্ভের উচ্চতা $(CF)=h_t$;

বাম দিকের পারদের উষ্ণতা $=0^\circ$ সে. ; ডান দিকের পারদের উষ্ণতা $=t^\circ$ সে. ;
0° সে. উষ্ণতায় পারদের ঘনত্ব $=d_o$; t° সে. উষ্ণতায় পারদের ঘনত্ব $=d_t$;
বায়ুমণ্ডলের চাপ $=P$; অভিকর্ষজাত ত্বরণ $=g$ ।

B-স্তরে BE-পারদস্তম্ভের চাপ $=P+h_od_og$ এবং C-স্তরে CF-পারদস্তম্ভের চাপ $=P+h_td_tg$ ।

B-স্তর ও C-স্তর একই অনুভূমিক তলে আছে। দুই বাহুর উষ্ণতা স্থির হইলে উহাতে পারদস্তম্ভ স্থির থাকিবে এবং উপরোক্ত চাপদুইটি পরস্পরের সমান হইবে, অর্থাৎ $P+h_od_og=P+h_td_tg$ হইবে ;

বা, $\dfrac{d_o}{d_t}=\dfrac{h_t}{h_o}$ ... ... (১)

কিন্তু, $d_o=d_t\,(1+\gamma_r t)$, ($\gamma_r=$ তরলের প্রকৃত প্রসারণ-গুণাঙ্ক) ... (২)

অতএব, $\dfrac{d_t(1+\gamma_r t)}{d_t}=\dfrac{h_t}{h_o}$; বা, $1+\gamma_r t=\dfrac{h_t}{h_o}$;

বা, $\gamma_r=\dfrac{h_t-h_o}{h_o\times t}$ ... ... (৩)

এই পরীক্ষায় ভুল বা অশুদ্ধির ক্ষেত্রগুলি কি কি.—

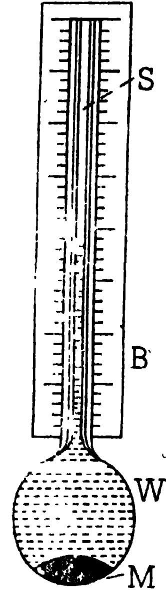
(১) পারদের γ_r একটি খুব ছোট রাশি (=0·00018, প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে) বলিয়া (h_t-h_o) খুব ছোট হইবে। মিটার স্কেলের সাহায্যে এই উচ্চতার পার্থক্য নির্ণয় করা ঠিক হইবে না। এই কাজে ক্যাথিটোমিটার-দূরবীণযন্ত্র ব্যবহার করা উচিত।

(২) পারদস্তম্ভ জ্যাকেট ছাড়াইয়া উপরে উঠিয়া গেলে জ্যাকেটের বাহিরের পারদের উষ্ণতা অনিশ্চিত হইবে।

(৩) দুই বাহুর শীতল ও তপ্ত পারদের পারস্পরিক মিশ্রণ বন্ধ করার জন্য মধ্যস্থলে যে ব্লটিং কাগজের জলসিক্ত প্যাডের ব্যবস্থা রাখা হইয়াছে তাহা অভিপ্সিতরূপে পুরাপুরি ফল দেয় না। দুই বাহুর শীতল ও তপ্ত পারদের কিছুটা মিশ্রণ ঘটিয়াই থাকে।

মন্তব্য : এই পরীক্ষা দ্বারা পারদের প্রকৃত প্রসারণ-গুণাঙ্ক নির্ণয় করা যায় এইজন্য যে, এই ক্ষেত্রে গুণাঙ্ক নলের প্রসারণের উপর নিভর করে না। কেন-না, পদ্ধতিটি নির্ভর করে, এক বাহুর তরলের চাপের সহিত অন্য বাহুর তরলের চাপের সাম্য স্থাপিত হওয়ার উপর। চাপ হইল এক-একক বর্গক্ষেত্রের উপর প্রযুক্ত বল এবং উহা নলের প্রস্থচ্ছেদের উপর নির্ভর করে না।

(২) স্থির আয়তন প্রসারণমাপক পাত্রের (constant volume dilatometer) দ্বারা।—এই পরীক্ষায় একটি কাঁচের ফ্লাস্কের (W) তলায় কিছুটা পারদ (M) এবং উহার উপরে (ফ্লাস্কের নলের খানিকটা পর্যন্ত ভর্তি করিয়া) পরীক্ষাধীন তরল পদার্থ রাখা হয়।* পারদের পরিমাণ এমনভাবে লওয়া হয় যাহাতে যে-কোন উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্যই পারদের প্রসারণ ও পাত্রের প্রসারণ সমান সমান হয়। ফলে, পারদের উপরস্থ ফ্লাস্কের বাকী অংশটির আয়তন উষ্ণতাবৃদ্ধিসত্ত্বেও অপরিবর্তিত থাকে এবং পরীক্ষাধীন তরল পদার্থের প্রকৃত প্রসারণ নির্ণয় করা সম্ভব হয়। পারদের প্রকৃত প্রসারণ-গুণাঙ্ক কাঁচের প্রসারণ-গুণাঙ্কের সাত গুণ। এইজন্য গৃহীত পারদের আয়তন কাঁচের ফ্লাস্কের আয়তনের এক-সপ্তমাংশ হইলেই উপরোক্ত সর্ত পূর্ণ হইবে।



চিত্র ২৫

এই যন্ত্রে ফ্লাস্কের নলটি বরাবর সমান প্রস্থচ্ছেদের থাকে। নলটির পিছনে একটি কার্ডবোর্ড-স্কেল (S) বসান হয়। এই স্কেলে নলের বিভিন্ন উচ্চতায় ফ্লাস্কের (পারদের উপরিস্থিত অংশের) আয়তনের মাপ লেখা থাকে। পরীক্ষাধীন তরল পদার্থের আয়তন নলের মধ্যস্থ তরল শীর্ষের পাঠ অনুযায়ী এই স্কেল হইতে জানা যায়।

ফ্লাস্কটিকে তাপ দিয়া পর পর দুইটি বিভিন্ন স্থির উষ্ণতায় রাখিয়া তরলের আয়তন স্কেলের পাঠ হইতে জানিয়া লইলে, পরীক্ষাধীন

$$\text{তরলটির প্রকৃত গড় প্রসারণ-গুণাঙ্ক} = \frac{\text{আয়তনের প্রসারণ}}{\text{প্রারম্ভিক আয়তন} \times \text{উষ্ণতাবৃদ্ধি}} \text{।}$$

৩১। কোন তরল পদার্থের উষ্ণতা বাড়িলে উহাতে নিমজ্জিত কঠিন পদার্থের আপাতভার বৃদ্ধি পায়ঃ—মনে কর যে, একটি নির্দিষ্ট ভরবিশিষ্ট বস্তুখণ্ড $0°$ সেন্টিগ্রেডে v_0 আয়তন অধিকার করে। সম-উষ্ণতাসম্পন্ন কোন তরল পদার্থে ইহাকে পুরাপুরি নিমজ্জিত করিলে ইহার আপাত ভার হ্রাস হয় ω_0। এবার মনে কর যে, তরল পদার্থটির উষ্ণতা $t°$ সে. পর্যন্ত বাড়ান হইলে নিমজ্জিত কঠিন পদার্থটির আপাতভার হ্রাস হয় ω_t)।

* পরীক্ষাধীন তরল পদার্থের সহিত পারদের কোন রাসায়নিক ক্রিয়া না ঘটিলে এই পদ্ধতি প্রয়োগ করা চলিবে।

ধরা যাক্, $d_0 = 0°$ সে.তে তরল পদার্থটি ঘনত্ব, এবং $d_t = t°$ সে.তে ঐ তরল পদার্থের ঘনত্ব ; $\gamma = 0°$ সে. ও $t°$ সে.এর মধ্যে বস্তুটির গড় ঘন প্রসারণ-গুণাঙ্ক ; g = স্থানীয় অভিকর্ষজাত ত্বরণ।

আর্কিমিডিসের সূত্র অনুযায়ী 0° সেন্টিগ্রেডে স্থানচ্যুত তরল পদার্থের ওজন

$= \omega_0 = v_0 \times d_0$ ... ... (১)

আবার, $t°$ সেন্টিগ্রেডে কঠিন পদার্থটির আয়তন $= v_0(1+\gamma \times t)$

$= t°$ সে. উষ্ণতায় স্থানচ্যুত তরল পদার্থের আয়তন।

তাহা হইলে, তরলে নিমজ্জিত অবস্থায় কঠিন পদার্থটির $t°$ সে. উষ্ণতায় ওজন হ্রাস হইবে

$= \omega$ = স্থানচ্যুত তরলের ওজন $= [v_0(1+\gamma \times t) \times d_t]$ ... (২)

সমীকরণ (১) ও (২) হইতে,

$$\frac{\omega_0}{\omega_t} = \frac{v_0\, d_0}{\{v_0\,(1+\gamma \times t)\} \times d_t} = \frac{d_0}{d_t\,(1+\gamma \times t)}$$

$$= \frac{d_0}{d_0(1-\gamma_r \times t)(1+\gamma \times t)},$$

$$= \frac{1}{1-\gamma_r t+\gamma \times t-\gamma_r \gamma t^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad (৩)$$

$$= \frac{1}{1+t\,(\gamma-\gamma_r)}, \text{ (প্রায়)} \quad \ldots \quad \ldots \quad (৪)$$

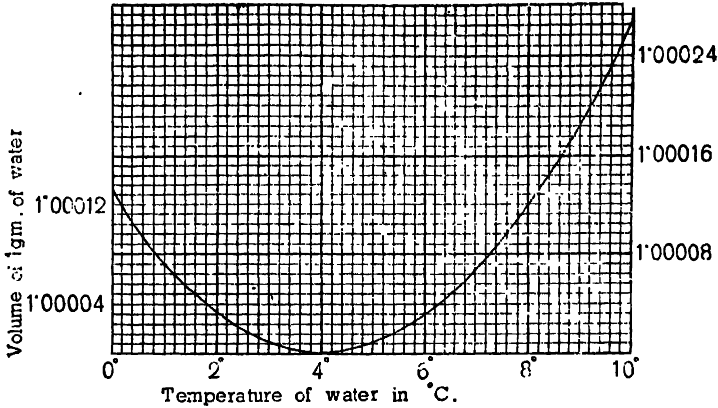
[γ_r এবং γ রাশিদুইটি খুব ছোট ছোট, তাই উহাদের গুণফল নগণ্য]

γ_r সর্বক্ষেত্রেই γ হইতে বড় হয় বলিয়া এবং উষ্ণতাবৃদ্ধিতে t রাশি একটি ধন রাশি বলিয়া, $[1+t\,(\gamma-\gamma_r)] < 1$ হয়।

তাহা হইলে, সমীকরণ (৪) হইতে দেখা যায় যে $\omega_t < \omega_0$। তবেই দাঁড়াইল এই যে, তরল পদার্থের উষ্ণতা যত বাড়িবে ইহাতে নিমজ্জিত কঠিন পদার্থের আপাত ভারহ্রাস তত কমিবে, অর্থাৎ নিমজ্জিত বস্তুটির আপাত ভার তত বৃদ্ধি পাইবে।

৩২। জলের অনন্য প্রসারণ (Anomalous expansion of water) :— 0° সে. হইতে উষ্ণতা বাড়িয়া 4° সে. হওয়া পর্যন্ত জলের আয়তন বাড়ে না, কমিতে থাকে। 4° সে.তে আয়তন হয় সর্বাপেক্ষা কম। জলের ইহা একটি বিশেষ ধর্ম। 4° সে. হইতে উষ্ণতা বাড়িলে আয়তন ক্রমেই বাড়িতে থাকে। 8° সে.তে জল পুনরায় 0° সে.এর আয়তন প্রাপ্ত হয়। ইহার পর উষ্ণতা যত বাড়ে আয়তনও ততই

বাড়িতে থাকে। চিত্র ২৬এ এক গ্রাম জলের আয়তন উষ্ণতাবৃদ্ধির সহিত কিভাবে



চিত্র ২৬

পরিবর্তিত হয় তাহা একটি লেখ-র সাহায্যে দেখান হইয়াছে। 0° সে. হইতে 10° সে. পর্যন্ত 1 গ্রাম জলের বিভিন্ন আয়তন এই লেখতে চিহ্নিত করা আছে।

বিশেষ দ্রষ্টব্য : বস্তুর ঘনত্ব এবং উহার এককভরের আয়তন পরস্পরের ব্যস্ত আনুপাতিক। উপরের তথ্য হইতে তাই স্পষ্টই বুঝা যাইতেছে যে, বিশুদ্ধ জলের ঘনত্ব 4° সে.তে সর্বোচ্চ হয়। এই তাপমাত্রার নিম্নতর এবং উচ্চতর উভয় তাপমাত্রাতেই জলের ঘনত্ব সর্বোচ্চ ঘনত্ব হইতে কম হইবে।

মন্তব্য : (১) মনে রাখিও যে, উপরোক্ত তথ্যাদি কেবলমাত্র বিশুদ্ধ জল সম্বন্ধেই প্রযোজ্য। বিশুদ্ধ জলের ঘনত্ব 4° সে.তে সর্বোচ্চ হইবে। জলে অন্য কিছু দ্রাব্য পদার্থ থাকিলে 4° সে. অপেক্ষা নিম্নতর উষ্ণতায় জলের ঘনত্ব সর্বোচ্চ হয়।

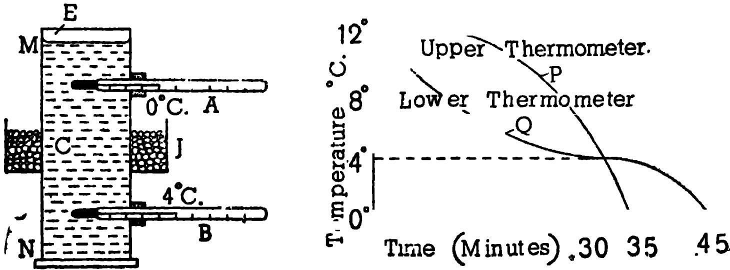
(২) 80° সে.তে জলের প্রসারণ-গুণাঙ্ক = 0·0006, প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে ;
10° সে.তে „ „ = 0·0001 „ „ „ ;
4° সে.তে „ „ = 0 „ „ „ ;

4° সে. হইতে 0° সে. পর্যন্ত জলের প্রসারণ-গুণাঙ্ক, ঋণাত্মক (*-ve*) হইবে।

১৮। জল যে 4° সে. উষ্ণতায় সর্বোচ্চ ঘনত্ব প্রাপ্ত হয় তাহা প্রমাণ করার একটি পরীক্ষা :—

হোপের পরীক্ষা (Hope's Experiment).—টি. সি. হোপ ১৮০৫ খৃস্টাব্দে এই পরীক্ষাটি প্রথম করেন। *MN* হইল ধাতুনির্মিত একটি উঁচু ড্রাম (চিত্র ২৭)। ইহার

মধ্যস্থলে চারিদিক ঘিরিয়া একটি জ্যাকেট (J) আছে। ড্রামটির গাত্রে উপরের দিকে একটি ও নীচের দিকে একটি ছিদ্রমুখ আছে। এই দুইটি মুখে দুইটি কর্ক লাগাইয়া উহাদের মধ্য দিয়া দুইটি থার্মোমিটার (A ও B) ড্রামটির মধ্যে প্রবেশ করান হয়। প্রারম্ভে 10° সে. উষ্ণতাবিশিষ্ট ঠাণ্ডা জলে ড্রামটিকে প্রায় পূর্ণ করা হয়। তারপর



চিত্র ২৭

বরফচূর্ণের সঙ্গে নুন মিশাইয়া ঐ হিমমিশ্র (freezing mixture)দ্বারা জ্যাকেটটি (J) ভর্তি করা হয়। এই হিমমিশ্রের সাহায্যে চোঙের মধ্যভাগের জলের উষ্ণতা −20° সে. পর্যন্ত নামান যায়।

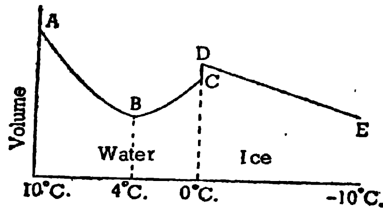
পর্যবেক্ষণ.—প্রথমে দুইটি থার্মোমিটারের পাঠই হইবে প্রায় 10° সে.এর সমান। তারপর ড্রামের মধ্যভাগের জল ঠাণ্ডা হইতে থাকিলে নীচের থার্মোমিটার Bর পাঠ কমিতে কমিতে 4° সে.তে আসিয়া স্থির হইবে। উষ্ণতা 4° সে.এর যত কাছাকাছি যাইবে উষ্ণতাহ্রাসের হার ততই কমিবে এবং শেষ পর্যন্ত উষ্ণতা 4° সে.তে পৌছিলে Bর পারদশীর্ষ স্থির হইবে। এই 4° সে.এর কাছাকাছি পর্যায়ে উপরের থার্মোমিটার Aর পাঠ দ্রুত গতিতে কমিতে কমিতে 0° সে.তে আসিয়া স্থির হইবে। অনেকক্ষণ পরীক্ষা চালাইলে দেখিবে যে, ছোট ছোট বরফের টুক্‌রা এখন জলের উপর ভাসিতেছে। কিন্তু তবুও নীচের থার্মোমিটারের পাঠ 4° সে.এর নীচে নামিবে না।

ব্যাখ্যা.—উপরোক্ত তথ্যাবলীকে চিত্র ২৭এর ডান অংশের লেখ-র দ্বারা প্রকাশ করা হইয়াছে। এই তথ্যাবলীর সহজ ব্যাখ্যা দেওয়া যাইতে পারে।

ড্রামের মধ্যভাগের জল ঠাণ্ডা হইয়া সংকুচিত হওয়ায় ভারি হয় এবং নীচের দিকে নামিতে থাকে। নীচের অপেক্ষাকৃত হাল্‌কা জল (বেশি গরম বলিয়া হাল্‌কা) নিম্নগামী ভারি জল দ্বারা স্থানচ্যুত হইয়া উপরে উঠিতে থাকে এবং উপরে উঠিবার কালে

হিমমিশ্রের দ্বারা ঠাণ্ডা হইতে থাকে। এইভাবে একটি পরিচলন-প্রবাহ (convection current) সৃষ্ট হয় এবং ক্রমেই অধিকতর ঠাণ্ডা জলের সংস্পর্শে আসায় নীচের থার্মোমিটারের পাঠ কমিতে থাকে। জল যতক্ষণ ঠাণ্ডা হইলে সংকুচিত হইবে ততক্ষণই এইরূপ ঘটিবে। অর্থাৎ, 4° সে. পর্যন্ত এইরূপ ঘটিবে (চিত্র ২৮ দেখ—ইহাতে A হইতে B পর্যন্ত এইরূপ ঘটিবে)। উষ্ণতা আরও কমিলে মধ্যভাগের জল প্রসারিত হইবে (বা ইহার ঘনত্ব কমিবে) এবং ঐ জল হাল্কা বলিয়া উপরে উঠিতে সুরু করিবে। ফলে উপরের থার্মোমিটারের পাঠ ক্রমাগত দ্রুত কমিতে কমিতে শেষ পর্যন্ত 0° সে.তে পৌছাইবে। নীচের থার্মোমিটার কিন্তু সর্বাপেক্ষা ঘন জলের সংস্পর্শে থাকিবে বলিয়া ঐ সর্বাপেক্ষা ঘন জলের উষ্ণতা (4° সে.) নির্দেশ করিতে থাকিবে। এই উষ্ণতা স্থির থাকে বলিয়া প্রমাণ হয় যে, এই উষ্ণতায় অর্থাৎ 4° সে.তে জলের ঘনত্ব সর্বাপেক্ষা বেশি।

0° সে.তে পৌঁছিবার পরও জল ঠাণ্ডা করিতে থাকিলে ফল কি হয়।— উপরের থার্মোমিটারে 0° সে. সূচিত হইবার পরও নিরীক্ষণ কার্য চালাইয়া গেলে দেখা যাইবে যে, জল ক্রমশঃ বরফে পরিণত হইতেছে। 0° সে.এর বরফ 0° সে.এর জল অপেক্ষা হাল্কা, তাই বরফের টুক্‌রাগুলি জলের উপর ভাসিয়া উঠিবে। অতএব ইহা মনে রাখিতে হইবে যে, 0° সে.এর জল 0° সে.এর বরফে পরিণত হইলে ইহার আয়তন বাড়িয়া যায়। 0° সে.-এর 11 ঘন সে.মি. জল 0° সে.এর বরফে পরিণত হইলে 12 ঘন সে মি. আয়তন অধিকার করে, 0° সে.এর

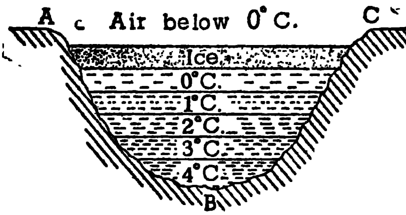


চিত্র ২৮

বরফকে ইহার পর আরও ঠাণ্ডা করিতে থাকিলে ইহার আয়তন ধীরে ধীরে ক্রমাগতই কমে। চিত্র ২৮এ 10° সে.এর জল হইতে −10° সে.এর বরফ পর্যন্ত এই পদার্থের আয়তনের পরিবর্তন কিভাবে হয় দেখান হইয়াছে। ইহাতে পরিবর্তনের মূল ধরণগুলি দেখান হইয়াছে মাত্র, পরিবর্তনের সঠিক মাত্রা দেখাইবার চেষ্টা করা হয় নাই।

৩৪। শীতপ্রধান দেশের নানা জায়গায় পুকুর, হ্রদ বা নদীর জল জমিয়া যাওয়ার প্রকৃতি ঃ—জলের তাপমাত্রা 0° সে. নামা পর্যন্ত উহার ঘনত্ব যদি

ক্রমাগত বাড়িতে থাকিত তাহা হইলে শীতপ্রধান দেশের পুকুর, হ্রদ ও নদীগুলি তলা হইতে উপর পর্যন্ত জমিয়া কঠিন বরফে পরিণত হইয়া যাইত। ফলে সকল জলচর প্রাণীরই জীবন বিনষ্ট হইয়া যাইত। বাস্তবক্ষেত্রে দেখা যায় যে, শীতের দেশে জলাশয়ের জলের উপরিভাগ জমিয়া বরফ হয় বটে কিন্তু নীচের দিকে জল থাকিয়া যায় এবং জলচর প্রাণীরা বাঁচিয়া থাকে। বায়ুমণ্ডলের উচ্চতা 0° সে. হইতে আরও কমিতে থাকিলে জলশীর্ষের জমাট বরফের বেধ মাত্র সামান্য হারে বাড়ে।



চিত্র ২৯

ব্যাখ্যা।—হোপের পরীক্ষা হইতে লব্ধ তথ্যের সাহায্যে এই প্রাকৃতিক ঘটনার ব্যাখ্যা দেওয়া যায়। উপরের বায়ুমণ্ডলের উষ্ণতা 0° সে.-এর নীচে হইলে জলের উষ্ণতা ধীরে ধীরে কমিতে থাকে। 4° সে.-তে নামা পর্যন্ত উপরের ঠাণ্ডা জল ভারি হইয়া নীচে নামিতে থাকে এবং সমগ্র জলরাশি উহা দ্বারা উদ্ভূত পরিচলন প্রবাহের (resulting convection current) ক্রিয়ায় দ্রুত ঠাণ্ডা হয়। ইহার পর উপরের জলের উষ্ণতা যখন 4° সে. এর নীচে নামে তখন ঐ জল হাল্‌কা হইতে থাকে বলিয়া নীচে নামিতে পারে না। ফলে তলা হইতে উপর পর্যন্ত বিভিন্ন স্তরে জলের উষ্ণতা ক্রমেই কম হয়। নিম্নতম স্তরের উষ্ণতা হয় 4° সে. এবং উপরি স্তরের উষ্ণতা 0° সে. (চিত্র ২৯ দেখ)। উপরের স্তরের জল আরও ঠাণ্ডা হইলে উহার খানিকটা জমিয়া বরফ হয় এবং হাল্‌কা ঐ বরফ উপরে ভাসিয়া উঠে। বরফ যদি জল অপেক্ষা ভারি হইত তাহা হইলে জলের তলায় চলিয়া যাইত ও ক্রমে ক্রমে সমগ্র জলরাশি বরফে পরিণত হইত

উপরে বরফে জমিয়া গেলে নীচের জল হইতে উত্তাপ উহার মধ্য দিয়া বায়ুমণ্ডলে আরও কম হারে পরিবাহিত (conduction) হয়। বরফ উত্তাপের কুপরিবাহক বলিয়া এইরূপ ঘটে। জল হইতে অতি ধীরে ধীরে সামান্য তাপ বহির্গত হয় বলিয়া বরফের বেধ অতি ধীরে ধীরে বৃদ্ধি পায়।

4° সে. হইতে বরফ হওয়া পর্যন্ত জলের এই বিচিত্র ধর্মের জন্যই শীতের দেশে শীতলতম দিনগুলিতেও জলচর প্রাণিগুলি উহাদের জীবনরক্ষা করিতে পারে। চিত্র ২৮এর *B* হইতে *C* পর্যন্ত সূচিত রেখাকে এইজন্য প্রায়ই 'মৎস্যের জীবনরেখা' (**fish's life-line**) বলা হয়।

Examples

1. A wt.-thermometer containing 100 gms. of mercury at 0° C. is surrounded by liquid in a bath when 4 gms. of mercury flow out. What is the temperature of the bath if the apparent co-efficient of expansion of mercury is 0·00018 ?

উত্তর : $\gamma_a = \frac{m_1 - m_2}{m_2 \times t}$, [অনুচ্ছেদ ২৯(খ), সমীকরণ (১) অনুযায়ী]

এখানে, $\gamma_a = 0·00018$; $m_1 - m_2 = 4$ গ্রাম ; $m_2 = 100 - 4 = 96$; $t = t_2 - t_1$; $t_1 = 0$; $t_2 = ?$

$\therefore \quad 0·00018 = \frac{4}{(100-4) \times (t_2 - t_1)} = \frac{4}{96 \times (t_2 - 0)} = \frac{4}{96 \times t_2}$ ।

$\therefore$ নির্ণেয় উষ্ণতা, $t_2 = \frac{4}{96 \times 0·00018} = 231·5°$ সে.।

2. A glass wt.-thermometer has a mass of 6·34 gms. when empty, and 153·81 gms. when filled with mercury at 0° C. If 2·08 gms. are expelled when it is heated to 100° C., find the co-efficient of relative expansion of mercury in glass.

উত্তর : $\gamma_a = \frac{m_1 - m_2}{m_2 \times t} = \frac{\text{বহির্গত পারদের ভর}}{\text{অবশিষ্ট পারদের ভর} \times \text{উষ্ণতাবৃদ্ধি}}$

বহির্গত পারদের ভর $= m_1 - m_2 = 2·08$ গ্রাম। অবশিষ্ট পারদের ভর = পারদের প্রারম্ভিক ভর— বহির্গত পারদের ভর = (পারদসহ থার্মোমিটারের প্রারম্ভিক ভর—থার্মোমিটারের ভর)—বহিষ্কৃত পারদের ভর = (153·81 − 6·34) − 2·08 = 147·47 − 2·08 = 145·39 গ্রাম ; উষ্ণতাবৃদ্ধি, $t = 100 - 0 = 100°$ সে.।

$\therefore \gamma_a = \frac{2·08}{145·39 \times 100} = 0·000143$, প্রতি ডিগ্রী সেণ্টিগ্রেডে।

3. The density of mercury is 13·59 at 0° C. What will be the volume of 30 kgms. of mercury at 100° C., the co-efficient of expansion of mercury being 1/5550.

উত্তর : $d_0 = d_t \; (1 + \gamma_r \times t)$, [অনুচ্ছেদের ২৩, সমীকরণ (১) অনুযায়ী]

$\therefore \quad d_0 = d_{100}\{1 + \gamma_r \times (100 - 0)\}$ । এখানে $d_0 = 13·59$; $\gamma_r = \frac{1}{5550}$ ।

$\therefore \quad d_{100} = \frac{d_0}{(1 + \gamma_r \times 100)} = \frac{13·59}{1 + (\frac{1}{5550} \times 100)} = \frac{13·59 \times 5550}{5650}$. $\therefore$ 100° সে.তে পারদের আয়তন

$= \frac{\text{পারদের ভর}}{d_{100}} = \frac{30 \times 1000}{\frac{13·59 \times 5550}{5650}} = 2247·27$ ঘন সে.মি.

4. *The density of mercury is 13·6 gm./c.c. at 0°C. and at 100°C. it is 13·35 gm./c.c. Calculate the co-efficient of absolute expansion of mercury.*

উত্তর : উষ্ণতাবৃদ্ধি $= t = 100 - 0 = 100°$ সে. ; $d_o = 13·6$; $d_t = 13·35$ ।

$$\gamma_r = \frac{d_o - d_t}{d_o \times t} = \frac{d_o - d_{100}}{d_o \times 100} = \frac{13·6 - 13·35}{13·6 \times 100} = 1·84 \times 10^{-4}, \text{ প্রতি ডিগ্রী সে.তে ।}$$

Exercises

1. When hot water is thrown on the bulb of a thermometer, the mercury first falls and then rises. Why ?

2. The density of water at 20°C. is 0·998 gm./c.c. and at 40°C. it is 0·992 gm./c.c. Find the mean co-efficient of cubical expansion of water between the two temperatures. উত্তর : 0·0003, প্রতি ডিগ্রী সে.তে ।

3. The co eff. of linear expansion of glass is 8×10^{-6} per °C. and the co-eff. of cubical expansion of mercury is $1·8 \times 10^{-4}$ per °C. What volume of mercury must be placed in a sp. gr. bottle in order that the volume of the bottle not occupied by mercury shall remain the same at all temperatures ? উত্তর : শিশিটির আয়তনের $\frac{2}{15}$ অংশ ।

4. Describe Dulong and Petit's method of determining the co-eff. of real expansion of mercury. Knowing the co-eff. of expansion of mercury, show briefly how you would find the co-eff. of expansion of another liquid between 0° and 100° C.

5. In an experiment performed by Dulong and Petit's method, the heights of the cold and hot columns of mercury are found to be 90·6 cm. and 92·2 cm. respectively. If the cold column is at 0°C., find the temperature of the other. γ for mercury $= 18·2 \times 10^{-5}$ per °C. উত্তর : 97° সে. (প্রায়) ।

6. A solid body is weighed successively in a liquid at different temperatures. Explain how the heating will affect the different weights.

7. 1 c.c. of water weighs 0·99874 gm. at 0°C. and 1 gm. at 4°C. Find the mean co-efficient of absolute expansion of water between 0°C. and 4°C. উত্তর : -32×10^{-5}, প্রতি ডিগ্রী সে.তে ।

8. Water is said to have its maximum density at 4°C. Explain what this means. In what respects is the expansion of mercury different from that of water when both are gradually warmed from 0°C.

9. 'Water is not at all suitable as thermometric liquid between 0°C. and 8°C. but the peculiar property of water saves the lives of aquatic animals in very cold countries.' Explain this statement as clearly as possible.

10. Explain why ice forms on the surface of a lake. What is the temperature of the water at the bottom of the lake when its surface is coated with ice ? Give reasons for your answer.

11. Explain the following : (*i*) ice forms on the surface of water ; (*ii*) Fish can live and move in a frozen lake.

চতুর্থ পরিচ্ছেদ

গ্যাসীয় পদার্থের উষ্ণতাবৃদ্ধি-জনিত আয়তন প্রসারণ বা ঘন প্রসারণ

(Thermal Expansion of Gases)

৩৫। গ্যাসীয় পদার্থের উষ্ণতাবৃদ্ধি-জনিত ঘন প্রসারণ-সংক্রান্ত বিশেষ কয়েকটি কথা ঃ—

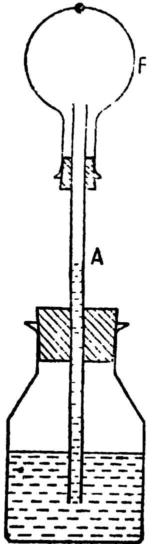
(১) সকল গ্যাসীয় পদার্থই গরম হইলে প্রসারিত ও ঠাণ্ডা হইলে সংকুচিত হয়। গ্যাসীয় পদার্থ ধরিয়া রাখার জন্য কোন পাত্রের প্রয়োজন হয়। কিন্তু পাত্রের তুলনায় গ্যাসীয় পদার্থের প্রসারণ এত অধিক হয় যে, খুব সূক্ষ্ম পরীক্ষার ক্ষেত্র ছাড়া অন্যান্য সকল ক্ষেত্রেই পাত্রের প্রসারণকে ধর্তব্য না মনে করিলেও বিশেষ ভুল হয় না।

(২) কঠিন পদার্থ ও তরল পদার্থের আয়তনের উপর চাপের প্রভাব নগণ্য। এইজন্য উহাদের উষ্ণতাবৃদ্ধি-জনিত প্রসারণের ক্ষেত্রে সাধারণতঃ চাপের কথা উল্লেখ না করিলেও চলে। কিন্তু গ্যাসীয় পদার্থের আয়তনের উপর চাপের প্রভাব খুব বেশি। উষ্ণতা না বদলাইয়া কেবলমাত্র চাপ বাড়াইয়া গ্যাসীয় পদার্থের আয়তন কমান যায় এবং চাপ কমাইয়া আয়তন বাড়ান যায়।

সুতরাং গ্যাসীয় পদার্থের প্রসারণের কথা বিবেচনা করিতে হইলে উষ্ণতা ও চাপ উভয়েরই হিসাব লইতে হইবে।

৩৬। গ্যাসীয় পদার্থের উষ্ণতাবৃদ্ধি-জনিত প্রসারণ ও উষ্ণতাহ্রাস-জনিত সংকোচন দর্শাইবার একটি সহজ পরীক্ষা ঃ—*F* একটি কাঁচের ছোট ফ্লাস্ক্ (চিত্র ৩০)। ইহার মুখে একটি রবারের ছিপি আঁটা আছে। ছিপিটির মধ্য দিয়া একটি কাঁচের নল (*A*) বায়ুনিরুদ্ধভাবে ফ্লাস্কের ভিতর ঢুকাইয়া রাখা হইয়াছে। ফ্লাস্কটির মধ্যে বায়ু ভিন্ন অন্য কিছু নাই। ফ্লাস্কটি উল্টাইয়া ধরিয়া *A* নলের মুক্ত প্রান্ত রঙীন জলের মধ্যে ডুবাইয়া রাখা হয়। রঙীন জল থাকে *B* পাত্রের মধ্যে। *B*

পাত্রের মুখটিও একটি রবারের ছিপি দ্বারা বায়ুনিরুদ্ধভাবে আটকানো। নল *A* শেষোক্ত ছিপির মধ্য দিয়াই রঙীন জলের মধ্যে প্রবেশ করান হয়।



চিত্র ৩০

ফ্লাস্কটি (*F*) একটি বুন্‌সেন বার্‌নারের (Bunsen burner) সাহায্যে সন্তর্পণে উত্তপ্ত করিলে উহার মধ্যস্থ বায়ু উত্তপ্ত হয় এবং প্রসারিত হইয়া বুদ্‌বুদাকারে রঙীন জলের মধ্য দিয়া বাহির হয়। ইহার পর ফ্লাস্কটির উপর কাপড় জড়াইয়া উহাতে কিছু বরফশীতল জল ঢালিলে ফ্লাস্কের বায়ু ঠাণ্ডা হইয়া সংকুচিত হয় এবং রঙীন জল নল *A* বাহিয়া উপরে উঠে।

৩৭। **গ্যাসীয় পদার্থের সূত্রাবলী** :—গ্যাসের বেলা, চাপ, *P*, আয়তন *V*, উষ্ণতা *t*—এই তিনটিকেই পরিবর্তনযোগ্য উৎপাদক (factors) বলিয়া বিবেচনা করিতে হয়। কোন নির্দিষ্ট ভরের চাপ, আয়তন ও উষ্ণতার মধ্যে যে-কোন দুইটি জানা থাকিলে ইহার অবস্থা সম্পূর্ণ জানা হয়। তাই ইহারা হইল গ্যাসের অবস্থার উৎপাদক রাশি। ইহার কোন একটিকে স্থির রাখিলে অন্য দুইটির পরিবর্তনের ক্ষেত্রে ঐ দুইটি উৎপাদকের মধ্যে সুনির্দিষ্ট পারস্পরিক সম্পর্ক রক্ষিত হয়। ইহা পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণিত একটি তথ্য।

গ্যাসের সূত্রাবলী নিম্নলিখিত চারিটি ভাগে বিবেচনা করা যাইতে পারে.—

(১) উষ্ণতা (*t*) স্থির রাখিয়া চাপ (*P*)এর পরিবর্তনে আয়তন (*V*)এর পরিবর্তন.—এইরূপ পরিবর্তন যে সূত্র দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয় তাহাকে বয়েলের সূত্র (Boyle's Law) বা মেরিয়তের সূত্র (Mariotte's Law) বলা হয়। সাধারণ পদার্থবিজ্ঞানে এই সূত্রের বিষয় বিস্তারিত বলা হইয়াছে।

(২) চাপ স্থির রাখিয়া উষ্ণতার পরিবর্তনে আয়তনের পরিবর্তন.—যে সূত্র দ্বারা এই পরিবর্তন নিয়ন্ত্রিত হয় তাহাকে চার্লসের সূত্র (Charles' Law) বা গে-লুস্যাক্‌সের সূত্র (Gay-Lussac's Law) বলা হয়।

(৩) আয়তন স্থির রাখিয়া উষ্ণতার পরিবর্তনে চাপের পরিবর্তন.—এই পরিবর্তনের সূত্রকে চাপের সূত্র (Law of Pressures) বলা হয়।

(৪) 'আয়তন, চাপ ও উষ্ণতা' এই তিনটি উৎপাদকই পরিবর্তিত হইলে উহাদের মধ্যে কি সম্পর্ক রক্ষিত হইবে? উহাদের পারস্পরিক সম্পর্ক **'গ্যাসের সমীকরণ'** (Gas equation) দ্বারা নির্ণীত হয়।

৩৮। স্থির চাপে গ্যাসীয় পদার্থের উষ্ণতাবৃদ্ধি-জনিত প্রসারণ (Thermal expansion of a gas at constant pressure) :—

চার্লসের সূত্র.—এই সূত্রের সংজ্ঞা হইল '**চাপ স্থির থাকিলে কোন নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন প্রতি ডিগ্রী সেণ্টিগ্রেড উষ্ণতা বৃদ্ধির (বা হ্রাসের) জন্য উহার 0° সে.এর আয়তনের $\frac{1}{273}$ অংশ বৃদ্ধি (বা হ্রাস) পাইবে।**'

মনে কর, $V_t = t°$ সে.তে প্রদত্ত গ্যাসের আয়তন ;

$V_0 = 0°$ সে.তে ঐ গ্যাসের আয়তন।

তাহা হইলে, চার্লসের সূত্রানুযায়ী, $V_t = V_0(1 + \frac{1}{273} \times t)$ ... ... (১)

ইহা হইল চার্লস্-এর সূত্রের আংকিক সংস্করণ।

এই সূত্র হইতে, $\frac{1}{273} = \frac{V_t - V_0}{t} \Big/ V_0$ ... ... (২)

স্থির চাপে গ্যাসের তাপজনিত প্রসারণ-গুণাঙ্ক—এই গুণাঙ্ককে γ_p বলিলে, কঠিন ও তরল পদার্থের ক্ষেত্রের মত,

$$\gamma_p = \frac{1° \text{ ডিগ্রী সে. উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য আয়তনবৃদ্ধি (প্রারম্ভিক আয়তন হইবে } 0° \text{ সে.র)}}{0° \text{ সে.র আয়তন}}$$

$= \frac{V_t - V_0}{t} \Big/ V_0$, [যদি t হয় গ্যাসের চূড়ান্ত উষ্ণতা] ... ... (৩)

সমীকরণ (২) ও (৩) হইতে, $\gamma_p = \frac{1}{273}$।

γ_pকে আয়তন-গুণাঙ্ক (volume co-eff.) বা স্থির চাপের আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক (co-efficient of volume expansion at constant pressure) বলা হয়।

সমীকরণ (১) নিম্নলিখিতভাবেও লেখা যায়—

$V_t = V_0(1 + \gamma_p \times t)$ ... ... (৪)

দ্রষ্টব্য ঃ (১) কঠিন ও তরল পদার্থের প্রসারণ-গুণাঙ্কের মান খুব ছোট ; গ্যাসের প্রসারণ-গুণাঙ্কের মান খুব ছোট নয় এবং সকল গ্যাসের বেলাই আয়তন-গুণাঙ্ক (বা প্রসারণ-গুণাঙ্ক) একই হয়। বিভিন্ন কঠিন বা তরল পদার্থের প্রসারণ-গুণাঙ্ক কিন্তু বিভিন্ন।

(২) গ্যাসের প্রসারণ-গুণাঙ্ক নির্ণয়ের ব্যাপারে গুণাঙ্কের উপর প্রযুক্ত চাপের প্রভাব খুবই অল্প। অর্থাৎ, বিভিন্ন চাপে নির্ণীত গুণাঙ্কগুলি মোটামুটি পরস্পরের সমানই হয়। চাপ বাড়িলে প্রসারণ-গুণাঙ্ক অল্প পরিমাণ বৃদ্ধি পায় বটে, কিন্তু ঐ বৃদ্ধি নগণ্য।

তাপমাত্রার উচ্চ পাল্লায় আয়তন-গুণাঙ্ক তাপমাত্রা পরিবর্তনে বিশেষ বদলায় না। কিন্তু কম তাপমাত্রায় বিশেষ করিয়া তরলীকরণ-তাপাঙ্কের (temperature of liquefaction) কাছাকাছি তাপমাত্রাতে গ্যাসের তাপমাত্রার পরিবর্তনে আয়তন গুণাঙ্কের মানে প্রভূত পরিবর্তন ঘটিয়া থাকে।

৩৯। ফারেনহাইট স্কেলে চার্লস্‌-এর সূত্রের আংকিক সংস্করণ :—

1° ফা. $= \frac{5}{9}^\circ$ সে. ∴ আয়তন-গুণাঙ্ক $= \frac{1}{273}$, প্রতি ডিগ্রী সেণ্টিগ্রেডে $= \frac{5}{9} \times \frac{1}{273}$, প্রতি ডিগ্রী ফা.তে $= \frac{1}{491}$, প্রতি ডিগ্রী ফা. তে।

সুতরাং অনুচ্ছেদ ৩৮এর সমীকরণ (১) অনুযায়ী,

$V_t = V_o\{1 + \frac{1}{491}(t - 32)\}$, t এখানে ডিগ্রী ফারেনহাইটে।

৪০। গ্যাসীয় পদার্থের আয়তন-প্রসারণের গুণাঙ্কের প্রসঙ্গে 0° সে.র আয়তন প্রামাণ্যরূপে ব্যবহার করার গুরুত্ব :—গ্যাসের প্রসারণের ক্ষেত্রে "0° সে র আয়তনের $\frac{1}{273}$", এই নির্দেশ কেন দেওয়া হয় তাহা ভাল করিয়া বুঝিতে হইবে। কঠিন বা তরল পদার্থের ক্ষেত্রে 0° সে.র আয়তনের পরিবর্তে যে-কোন প্রারম্ভিক উষ্ণতার আয়তন প্রামাণ্য হিসাবে গ্রহণ করিতে কোন বাধা নাই। গ্যাসের ক্ষেত্রে এরূপ করিলে ভুল ফল পাওয়া যাইবে।

একটি দৃষ্টান্ত দিলে বিষয়টি পরিষ্কার হইবে। মনে কর যে, 100° সে.তে কোন গ্যাসের আয়তন 373 ঘন সে.মি.। এখন মনে কর 110° সে.তে উহার আয়তন নির্ণয় করিতে হইবে।

চার্লস্‌-এর সূত্র কড়াকড়িভাবে প্রয়োগ করিলে, $V_{100} = V_o\ (1 + \frac{1}{273} \times 100)$ হইবে।

∴ $373 = V_o\ (1 + \frac{100}{273})$; অথবা, $V_o = 273$ ঘন সে.মি.।

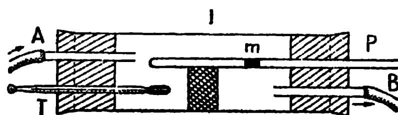
∴ $V_{110} = V_o\ (1 + \frac{1}{273} \times 110) = 273\ (1 + \frac{110}{273}) = 383$ ঘন সে.মি.। ইহাই হইল সঠিক হিসাবের পদ্ধতি।

কঠিন ও তরল পদার্থের ক্ষেত্রের মত গ্যাসের ক্ষেত্রেও যদি প্রারম্ভিক আয়তন যে-কোন উষ্ণতায় লওয়া চলিত, তবে $V_{110} = V_{100}\ \{1 + \frac{1}{273}(110 - 100)\}$ হইত, অর্থাৎ $V_{110} = 373\ \{1 + \frac{10}{273}\} = 373 + 13{\cdot}67 = 386{\cdot}67$ ঘন সে.মি. হইত।

স্পষ্টতঃই, এই পদ্ধতিতে নির্ণীত আয়তন চার্লস্‌এর সূত্র অনুযায়ী নির্ণীত আয়তন (383 ঘন সে. মি.) হইতে অনেক বেশি। তাই এই পদ্ধতি গ্যাসের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য হইবে না।

এই দৃষ্টান্তের আলোচনা হইতেই '0° সে.র আয়তনের $\frac{1}{273}$' এই কথার গুরুত্ব বোঝা যায়। গ্যাসের প্রসারণ-গুণাঙ্ক ($\frac{1}{273}$) একটি যথেষ্ট বড় রাশি বলিয়াই কথাটির গুরুত্ব এত। কঠিন ও তরল পদার্থের প্রসারণ-গুণাঙ্ক একটি অপেক্ষাকৃত অনেক ছোট রাশি বলিয়া উহাদের ক্ষেত্রে উল্লিখিত বিকল্প পদ্ধতি প্রয়োগ করিলে বিশেষ কোন ভুল হয় না।

৪১। বায়ুর আয়তন-গুণাঙ্ক (Volume Co-eff.) **নির্ণয়ের একটি সহজ পদ্ধতি ঃ**—এই পদ্ধতিটিকে স্থির চাপের বায়ু-থার্মোমিটার পদ্ধতিও বলা হয়। P একটি এক মুখ বন্ধ করা বরাবর সমান প্রস্থচ্ছেদের সরু কাঁচের নল (চিত্র ৩১)। ইহা প্রায় অর্ধ-মিটার লম্বা। প্রথমে ইহা পরিষ্কার করিয়া শুকাইয়া লওয়া হয়। তারপর ইহার খোলা মুখ পারদের মধ্যে রাখিয়া অন্য মুখ সন্তর্পণে গরম করিতে হয় ; ইহাতে কিছুটা বায়ু প্রসারিত হইয়া বুদ্বুদাকারে পারদের মধ্য দিয়া বাহির হইয়া যায়। নলটিকে ঠাণ্ডা করিলে মধ্যস্থ বায়ু সংকুচিত হওয়ার ফলে কিছুটা পারদ নলের মধ্যে ঢোকে। এই পারটুকু (m) একটি সূচকের কাজ করার জন্য দরকার। এই সূচকসহ বায়ুপূর্ণ নলটিকে আমরা একটি সরল বায়ু-থার্মোমিটার বলিতে পারি।



চিত্র ৩১—স্থির চাপের বায়ু-থার্মোমিটার।

এখন একটি কাঁচের মোটা নল (J) লও। ইহার দুইটি মুখই ছিপি দিয়া বন্ধ কর। বাম দিকের ছিপির মধ্য দিয়া একটি থার্মোমিটার (T) ও একটি আগম (inlet) নল (A) বসাও। ডান দিকের ছিপির মধ্য দিয়া একটি নির্গম (outlet) নল (B) ও বায়ু-থার্মোমিটারের নলটি (P) ভিতরে ঢোকাও। Pর ভিতরকার প্রান্ত একটি অবলম্বনের (support) উপর রাখিয়া যন্ত্রটিকে অনুভূমিক অবস্থায় রাখিতে হইবে।

পরীক্ষা.—আগমনল (A) দিয়া জ্যাকেটের (J) মধ্যে বরফজল প্রবেশ করাও, ঐ জল নির্গমনল B দিয়া বাহির হইয়া যাইবে। থার্মোমিটার T যখন 0° সে. সূচিত করিবে তখন দেখিবে যে, বায়ু-থার্মোমিটারের সূচকটি (m) এক অবস্থানে স্থির হইয়াছে। ঐ অবস্থায় একখানি সরল স্কেল দ্বারা নলের রুদ্ধ মুখ হইতে সূচক mএর দূরত্ব নির্ণয় কর। জ্যাকেটের সব জল বাহির করিয়া দিয়া এবার উহার মধ্য দিয়া স্টীম পাঠাও। থার্মোমিটার Tর পাঠ স্থির না হওয়া পর্যন্ত ক্রমাগত স্টীম পাঠাইতে হইবে। তাপমাত্রা

উচ্চতর বলিয়া এখন পারদসূচক (m) নলের রুদ্ধপ্রান্ত হইতে পূর্বের অবস্থান অপেক্ষা আরও দূরে সরিয়া যাইবে। সূচকের এখনকার স্থির অবস্থানে জ্যাকেটের আভ্যন্তরীণ তাপমাত্রা মনে কর t° সে.। ইহা থার্মোমিটার Tর পাঠ হইতে পাওয়া যাইবে। এবার একটি সরল স্কেলের দ্বারা সূচকের স্থির অবস্থানের দূরত্ব নির্ণয় কর। নলের মুক্ত প্রান্ত সর্বদা বায়ুমণ্ডলের দিকে উন্মুক্ত আছে বলিয়া নলের ভিতরের বায়ুচাপও সর্বদাই বায়ুমণ্ডলীয় চাপের সমান হইবে।

আংকিক হিসাব—মনে কর, P নলের প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল হইল α বর্গ সে.মি.। 0° সে.তে নলের ভিতরের আবদ্ধ বায়ুর দৈর্ঘ্য l_0 সে.মি. এবং t° সে তে ঐ বায়ুর দৈর্ঘ্য l_t সে.মি.। তাহা হইলে, 0° সে. ও t° সে তে আবদ্ধ বায়ুর আয়তন হইবে যথাক্রমে $(l_0 \times \alpha)$ ঘন সে.মি. এবং $(l_t \times \alpha)$ ঘন সে মি.। বায়ুর প্রসারণের তুলনায় নলের প্রসারণকে নগণ্য ধরা হইলে, বায়ুর আয়তন-গুণাঙ্ক,

$$\left(\gamma_p = \frac{(l_t \times \alpha) - (l_0 \times \alpha)}{(l_0 \times \alpha) \times (t - 0)} = \frac{l_t - l_0}{l_0 \times t}\right), \text{ প্রতি ডিগ্রী সে.তে।}$$

l_t, l_0 এবং t মাপা হইয়াছে, তাই γ_p জানা যাইবে। এই গুণাঙ্কের মান হইবে প্রায় 0·00367, $\frac{1}{273}$। P-নল হইতে বায়ু বাহির করিয়া দিয়া অন্য যে-কোন গ্যাসীয় পদার্থ দিয়া ঐ নল পূর্ণ করিয়া পরীক্ষা চালাইলেও দেখা যাইবে যে, $\gamma_p = \frac{1}{273}$ হইবে।

৪২। গ্যাসীয় চাপ-সূত্র (Law of Pressure) :—

সূত্রটি এই—"উষ্ণতাবৃদ্ধির সময় কোন গ্যাসের আয়তন অপরিবর্তিত থাকিলে প্রতি ডিগ্রী সেণ্টিগ্রেড উষ্ণতাবৃদ্ধির (বা হ্রাসের) জন্য উহার চাপ 0° সে.র চাপের $\frac{1}{273}$ অংশ বাড়িবে (বা কমিবে)।"

এই স্থির ভগ্নাংশ $\left(\frac{1}{273}\right)$কে গ্যাসের চাপগুণাঙ্ক বলা হয় এবং γ_v প্রতীক দ্বারা ইহাকে সূচিত করা হয়। মনে রাখিবে যে, সকল গ্যাসের ক্ষেত্রেই, $\gamma_p = \gamma_v = \frac{1}{273}$।

P_0 যদি 0° সে.র চাপ হয় এবং P_t যদি t° সে.র চাপ হয়, তাহা হইলে,

$$P_t = P_0 \{1 + \gamma_v \times (t - 0)\} = P_0(1 + \gamma_v \times t) \quad \cdots \quad \cdots \quad (১)$$

$$= P_0\left(1 + \frac{1}{273} \times t\right) \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (২)$$

৪৩। γ_p ও γ_vর পারস্পরিক সম্পর্ক :—কোন গ্যাস বয়েল-এর সূত্র, চার্লস্-এর সূত্র, এবং চাপসূত্র মানিয়া চলিলে, উহার ক্ষেত্রে $\gamma_p = \gamma_v$ হইবে।

প্রমাণ :—মনে কর যে, কোন গ্যাসের 0° সে.তে চাপ হইল P_o এবং আয়তন হইল V_o। এই চাপ (P_o) স্থির রাখিয়া গ্যাসটিকে 0° সে. হইতে t° সে.তে তুলিলে, চার্লস্‌এর সূত্র অনুযায়ী, (t° সে.তে গ্যাসের আয়তন V_t হইলে),

$$V_t = V_o\ (l+\gamma_p t) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (১)$$

এখন উষ্ণতা t° সে.তে স্থির রাখিয়া চাপ P_o হইতে বাড়াইতে বাড়াইতে গ্যাসটির আয়তন V_t হইতে কমাইয়া V_oতে পুনরায় আনা হইল। ইহাতে গ্যাসের উপর প্রয়োজনীয় শেষ চাপ যদি P_t হয়, তাহা হইলে বয়েলের সূত্র অনুযায়ী,

$$P_o V_t = P_t V_o \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (২)$$

স্বতরাং সমীকরণ (১) ও (২) হইতে $P_o V_o\ (1+\gamma_p t) = P_t V_o$;

$$বা,\ P_t = P_o\ (1+\gamma_p t) \quad \ldots \quad \ldots \quad (৩)$$

বিকল্পে, গ্যাসটির 0° সে.র আয়তন (V_o) অপরিবর্তিত রাখিয়া উহার উষ্ণতা 0° সে. হইতে t° সে.তে তুলিলে চাপসূত্র অনুযায়ী,

$$P_t = P_o\ (1+\gamma_v \times t) \quad \ldots \quad \ldots \quad (৪)$$

সমীকরণ (৩) ও (৪) হইতে প্রমাণ হয় যে, $\gamma_p = \gamma_v$।

২৪৪। পরম শূন্য উষ্ণতা (absolute zero temperature) **এবং উষ্ণতার পরম স্কেল বা কেলভিন স্কেল** (absolute or Kelvin scale of temperature) :—চাপ স্থির রাখিয়া উষ্ণতা কমান হইলে সকল গ্যাসেরই আয়তন কমে। এইরূপ ক্ষেত্রে চার্লসের সূত্র অনুযায়ী প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড উষ্ণতাহ্রাসের জন্য কোন গ্যাসের আয়তন উহার 0° সে.র আয়তনের $\frac{1}{273}$ অংশ কমে।

অতএব 0° সে. উষ্ণতার 1 ঘন সে.মি. গ্যাস, −1° সে.তে
অধিকার করিবে $(1-\frac{1}{273})$ ঘন সে.মি. ;

∴ 0° সে. উষ্ণতার 1 ঘন সে.মি. গ্যাস, −2° সে.তে
অধিকার করিবে $(1-\frac{2}{273})$ ঘন সে.মি. ;

∴ 0° সে. উষ্ণতার 1 ঘন সে.মি. গ্যাস, −3° সে.তে
অধিকার করিবে $(1-\frac{3}{273})$ ঘন সে.মি. ;

∴ 0° সে. উষ্ণতার 1 ঘন সে.মি. গ্যাস, −100° সে.তে
অধিকার করিবে $(1-\frac{100}{273})$ ঘন সে.মি. ;

∴ 0° সে. উষ্ণতার 1 ঘন সে.মি. গ্যাস, −273° সে.তে
অধিকার করিবে $(1-\frac{273}{273})=0$ ঘন সে.মি.

অতএব দেখা যাইতেছে যে, কোন গ্যাস −273° সে. তাপমাত্রা অবধি চার্লস্‌এর সূত্র মানিয়া চলিলে ঐ উষ্ণতায় উহার আয়তন শূন্যে পরিণত হইবে।

$V_t = V_o \left(1+\frac{t}{273}\right)$, চার্লস্-এর এই আংকিক সূত্র হইতে বেশ চট্ করিয়া বোঝা যায় ; কেন-না, $V_{-273} = V_o\,(1-\frac{273}{273})=0$, [$V_o=0$ নয় বলিয়া]।

অতএব যে-কোন গ্যাসের আয়তন -273° সে.তে লোপ পাইবে। এই আংকিক সূত্রে উষ্ণতা tর মান আরও কম ধরিলে, যথা -274° সে., -275° সে. ইত্যাদিতে আয়তন ঋণ হইয়া দাঁড়ায়। আয়তন ঋণ হওয়া কাহাকে বলে আমরা জানি না। তাই, -273° সে.কে গ্যাসসূত্র অনুযায়ী পদার্থের সর্বনিম্ন উষ্ণতা বিবেচনা করা হয়। অর্থাৎ গ্যাসসূত্র অনুযায়ী, কোন ক্ষেত্রেই কোন বস্তু -273° সে. অপেক্ষা নিম্নতর উষ্ণতা প্রাপ্ত হইতে পারে না।

গ্যাসের চাপসূত্রও আমাদিগকে ঐ একই সিদ্ধান্তে পৌছাইয়া দেয়। কেন-না, আয়তন স্থির রাখিয়া উষ্ণতা কমান হইলে গ্যাসের চাপ,

$P_t = P_o\left(1+\frac{t}{273}\right)$ আংকিক সূত্র মানিয়া চলিবে। তাহা হইলে, -273° সে. উষ্ণতায় গ্যাসের চাপ হইবে,

$P_{-273} = P_o(1-\frac{273}{273})=0$, [$P_o=0$ নয় বলিয়া।]

অতএব -273° সে.তে গ্যাসের চাপ শূন্য হইয়া যাইবে বা উহার চাপ লুপ্ত হইবে। এই তাপমাত্রা হইতে নিম্নতর তাপমাত্রায় গ্যাসের চাপ ঋণজাতীয় হইবে। ঋণচাপ অর্থহীন। তাই চাপসূত্র অনুযায়ীও, পদার্থের সম্ভবপর নিম্ন তাপমাত্রা হইল -273° সে.। তাহা হইলে দেখা যাইতেছে যে, -273° সে.তে কোন গ্যাসের চাপ ও আয়তন উভয়েই শূন্য হইয়া যায়। ঋণচাপ বা ঋণ-আয়তন কোনটাই সম্ভব নয় বলিয়া বস্তুমাত্রেরই সর্বনিম্ন উষ্ণতা হইতে পারে -273° সে. মাত্র। এই সর্বনিম্ন উষ্ণতা বা তাপমাত্রাকেই পরম শূন্য উষ্ণতা বা তাপমাত্রা (absolute zero temperature) বলা হয়। এই উষ্ণতা জলের হিমাঙ্ক অপেক্ষা 273° সে. ডিগ্রী নিম্নে। গ্যাস স্কেলে (gas scale) ইহা অপেক্ষা নিম্নতর কোন উষ্ণতার অস্তিত্ব স্বীকার করা যায় না।

উষ্ণতার যে স্কেলে সম্ভাব্য সর্বনিম্ন উষ্ণতা 0° ধরা হয়, তাহাকে পরম স্কেল বা কেলভিন স্কেল বলা হয়।

দ্রষ্টব্য : (১) উষ্ণতার বিভিন্ন সাধারণ স্কেলের 0°, যথা 0° সে., 0° ফা., 0° রে., খেয়াল-খুশিমত নির্দিষ্ট করা। এইরূপ করার কোন বৈজ্ঞানিক ভিত্তি নাই। পরম স্কেলের 0° কিন্তু সেরূপ নয়। পরম স্কেলের 0° হইল গ্যাসসূত্র অনুযায়ী সর্বনিম্ন উষ্ণতা। ইহা অপেক্ষা নিম্নতর কোন উষ্ণতার অস্তিত্ব গ্যাসশাস্ত্রে স্বীকার করা হয় না বলিয়া এই উষ্ণতাকে শূন্য আখ্যা দেওয়া খুবই সঙ্গত।

(২) পরম (বা কেলভিন) স্কেলের 1°কে 1°সে.এর সমান, অথবা, 1°ফা.এর সমান অথবা 1° রেমারের সমান (যেরূপ স্কেল ব্যবহার করার ইচ্ছা) ধরা যায়। প্রথম রূপের স্কেলটির নাম দেওয়া যায় পরম সেন্টিগ্রেড স্কেল এবং অনুরূপভাবে, দ্বিতীয়টির নাম হইবে পরম ফারেনহাইট স্কেল ও তৃতীয়টির, পরম রেমার স্কেল।

তাহা হইলে, পরম সেন্টিগ্রেড স্কেলে, 0° সে.$=273^\circ$ সে.-পরম বা সে.-কেলভিন হইবে ; 50° সে.$=(273+50)=323^\circ$ সে.-প., বা সে.কে ; 100° সে.$=373^\circ$ সে.-প., বা সে.কে, এবং t° সে.$=(273+t)^\circ$ সে.-প., বা সে.কে হইবে।

অনুরূপভাবে, পরম ফারেনহাইট স্কেলে, 0° ফা-পরম$=-460^\circ$ফারেনহাইট। [কারণ, 273° সে.$=\frac{9}{5}\times 273=491{\cdot}4^\circ$ ফারেনহাইট। পরম শূন্য উষ্ণতা জলের হিমাঙ্ক (0° সে.) হইতে 273° সে. নিম্নে বলিয়া, বা 32° ফা. হইতে $491{\cdot}4^\circ$ ফা. নিম্নে বলিয়া, 0° ফা.-পরম$=32-491{\cdot}4^\circ=-459{\cdot}4^\circ$ ফারেনহাইট$=-460^\circ$ ফা. (প্রায়)।] সুতরাং t° ফা.$=(460+t)^\circ$ ফারেনহাইট-পরম। অর্থাৎ, এক্ষেত্রে ফারেনহাইট ডিগ্রীতে প্রকাশিত উষ্ণতার সহিত 273এর পরিবর্তে 460 যোগ করিলে উষ্ণতাটি ফারেনহাইট-পরম ডিগ্রীতে পাওয়া যাইবে।

মন্তব্য : পরম স্কেল নির্ধারণ করিতে গিয়া ধরিয়া লওয়া হইয়াছে যে, গ্যাসমাত্রই 0° পরম তাপমাত্রা পর্যন্ত গ্যাসীয় অবস্থায় থাকিবে। কিন্তু ইহা সত্য নহে। 0° পরম বা -273° সে.এর পূর্বেই যে-কোন গ্যাস তরল পদার্থে ও তরল পদার্থ কঠিন পদার্থে রূপান্তরিত হয়। অর্থাৎ, কোন পরীক্ষাধীন পদার্থ 0° পরম পর্যন্ত গ্যাস সূত্রাবলী মানিয়া চলিতে পারে না ; তদবস্থাধীন সংকোচনের ধারা অনুযায়ী উহার সূত্র ভিন্ন হইতে বাধ্য। তবুও গ্যাসীয় পদার্থরূপে উহার আচরণ অব্যাহত থাকিবে ধরিয়া লইয়া যে পরম স্কেল উদ্ভূত হইয়াছে তাপবিজ্ঞানে তাহার গুরুত্ব অসীম। **যে কল্পিত গ্যাস 0° পরম পর্যন্ত চার্লস্ ও বয়েল-এর সূত্র পুরাপুরি মানিয়া চলে তাপবিজ্ঞানে তাহাকে একটি আদর্শ গ্যাস** (ideal or perfect gas) বলা হয়।

৪৫। উষ্ণতার পরম স্কেল অনুযায়ী চার্লস্-এর সূত্র ও চাপসূত্রের আংকিক রূপ :—উষ্ণতার পরম স্কেল অনুযায়ী গ্যাসের আংকিক সূত্রাবলী আরও অনেক সহজরূপে বিবৃত করা যায়। আমরা জানি যে,

$$V_t=V_0\left(1+\frac{t}{273}\right)\text{; আবার, } V_{t_1}=V_0\left(1+\frac{t_1}{273}\right)।$$

তাহা হইলে, $\frac{V_o}{Vt_1} = \frac{V_o\left(\frac{273+t}{273}\right)}{V_o\left(\frac{273+t_1}{273}\right)} = \frac{273+t}{273+t_1} = \frac{T}{T_1}$ ... (১)

[এখানে T এবং T_1 হইল পরম স্কেলে পর্যায়ক্রমে $t°$ সে. এবং $t°_1$ সের সমান, অর্থাৎ $T = 273 + t$ এবং $T_1 = 273 + t_1$ ।]

অতএব বলা যাইতে পারে যে, **চাপ অপরিবর্তিত থাকিলে, কোন নির্দিষ্ট ভরবিশিষ্ট গ্যাসের আয়তন উহার পরম উষ্ণতার সহিত সরল সমানুপাতিক হইবে,** অর্থাৎ, $V \propto T$ হইবে। অথবা, P অপরিবর্তিত থাকিলে, $\frac{V}{T}$ = একটি ধ্রুবক ... ... (১)

ইহা চার্লস্ সূত্রের একটি আংকিক সহজ সংস্করণ।

অনুরূপভাবে দেখান যায় যে,

$$\frac{P_t}{Pt_1} = \frac{P_o\left(1+\frac{t}{273}\right)}{P_o\left(1+\frac{t_1}{273}\right)} = \frac{273+t}{273+t_1} = \frac{T}{T_1}\text{।}$$

অর্থাৎ, বলা যাইতে পারে যে, **আয়তন অপরিবর্তিত থাকিলে, কোন নির্দিষ্ট ভরবিশিষ্ট গ্যাসের চাপ উহার পরম উষ্ণতার সহিত সরল সমানুপাতিক হইবে,** অর্থাৎ, $P \propto T$ হইবে। অথবা, V অপরিবর্তিত থাকিলে,

$\frac{P}{T}$ = একটি ধ্রুবক ... ... (২)

ইহা চাপসূত্রের একটি আংকিক সহজ সংস্করণ।

৪৬। স্বাভাবিক উষ্ণতা ও স্বাভাবিক চাপ (N. T. P.)* বলিতে কি বুঝায় :—

(১) স্বাভাবিক উষ্ণতা বলিতে 1 বায়ুমণ্ডলীয় চাপে বিশুদ্ধ বরফের গলনাঙ্ক যাহা হইবে তাহাকে বুঝায়। এই উষ্ণতাকে, 0° সে., বা 32° ফা., বা 273° সেন্টিগ্রেড-পরম, বা 492° ফারেনহাইট-পরম বলা হয়।

---

* স্বাভাবিক চাপের অপর নাম প্রমাণ চাপ (standard pressure) এবং স্বাভাবিক উষ্ণতার অপর নাম প্রমাণ উষ্ণতা (standard temperature)। সুতরাং *N.T.P.* (Normal Temperature and Pressure)র অপর নাম *S. T. P*।

(২) **স্বাভাবিক চাপ** বলিতে 0° সে. উষ্ণতাসম্পন্ন একটি 76 সে.মি. উচ্চ পারদস্তম্ভ উহার ভূমির উপর, সমুদ্রপৃষ্ঠের সমস্তরে 45° অক্ষাংশের কোন স্থানে, যে চাপ দেয় ঐ চাপকে বুঝায়। বর্ণিত অবস্থায় পারদের ঘনত্ব হইবে 13·596 গ্রাম, প্রতি ঘন সে.মি.তে, এবং বর্ণিত স্থানে অভিকর্ষজাত ত্বরণ g হইবে 980·6 সে.মি., প্রতি বর্গ সেকেণ্ডে।

তাহা হইলে, স্বাভাবিক চাপ, $P_0 = 76 \times 13{\cdot}596 \times 980{\cdot}6$ ডাইন/(সে.মি.)²

$= 1{\cdot}013 \times 10^6$ ডাইন/(সে.মি.)²

$= 1{\cdot}013$ মেগাডাইন/(সে.মি.)²।

৪৭। গ্যাসের সমীকরণ (Gas Equation) :—নির্দিষ্ট ভরবিশিষ্ট যে-কোন গ্যাসের ক্ষেত্রে স্থিতাবস্থায় উহার চাপ, আয়তন ও উষ্ণতা এই তিনটি উৎপাদকের মধ্যে সর্বদা একটি নির্দিষ্ট সম্পর্ক বজায় থাকে। এই নির্দিষ্ট সম্পর্কটি এখানে বাহির করা হইতেছে।

চাপ P, আয়তন V এবং পরম উষ্ণতা T হইলে,

বয়েলের সূত্র অনুযায়ী, T অপরিবর্তিত থাকিলে, $V \propto \frac{1}{P}$ ... (১)

চার্লসের সূত্র অনুযায়ী, P অপরিবর্তিত থাকিলে, $V \propto T$ ... (২)

তাহা হইলে T ও P উভয়ই পরিবর্তিত হইতে থাকিলে,

$V \propto \left(\frac{1}{P} \times T\right)$, সমীকরণ (১) ও (২) হইতে ;

বা, $V \propto \frac{T}{P}$. $\therefore$ $V = k \times \frac{T}{P}$, [এখানে k একটি ধ্রুবক], বা $\frac{PV}{T}$ = ধ্রুবক k ; বা, $PV = kT$ ... ... (৩)

সমীকরণ (৩)কে নিম্নলিখিত রূপেও প্রকাশ করা যায়, যথা

$\frac{P_0 V_0}{T_0} = \frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} = \frac{P_3 V_3}{T_3}$, ইত্যাদি $= k$ ... (৪)

[এখানে 0, 1, 2, 3, ইত্যাদি সংখ্যাগুলির দ্বারা গ্যাসটির বিভিন্ন পর্যায়ের স্থিতাবস্থা সূচিত করা হইয়াছে ; যে রাশিগুলির সহিত একই সংখ্যা যুক্ত আছে, উহারা একই স্থিতাবস্থার রাশি।]

কোন গ্যাসের 1 গ্রাম-অণু বিবেচনা করা হইলে ধ্রুবক k-র পরিবর্তে সাধারণতঃ ঐ স্থলে গ্যাসের বিশ্বধ্রুবক বা সার্বধ্রুবক R ব্যবহার করা প্রচলিত প্রথা। n গ্রাম-অণু

পরিমিত গ্যাস বিবেচনা করা হইলে k-র পরিবর্তে nR লিখিত হয়। অতএব গ্যাসীয় পদার্থের সাধারণ সমীকরণ হইবে,

$$PV = nRT \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (৫)$$

মনে রাখিবে যে, $PV = kT$ সমীকরণে গ্যাসের ভর নির্দিষ্ট থাকিলে তবেই ধ্রুবক (k)এর মান নির্দিষ্ট হইবে। অর্থাৎ বিভিন্ন ভরের জন্য kর মান ভিন্ন ভিন্ন হইবে।

দ্রষ্টব্য: (১) $PV = kT$ সমীকরণ চার্লস্-সূত্র ও বয়েল-সূত্রের মিলিত রূপ। ইহাকে গ্যাসের সমীকরণ বা আদর্শ গ্যাসের দশার সমীকরণ (equation of state of a perfect gas) বলা হয়। ইহার কারণ এই যে, নির্দিষ্ট ভরবিশিষ্ট কোন গ্যাসের ভৌত অবস্থা (physical state) এই সমীকরণ দ্বারা সম্পূর্ণ নির্দিষ্টরূপে প্রকাশিত হয়। একটি গ্যাসের ভর জানা থাকিলে উহার kর মান নির্ণয় করা যায়। ইহার সাহায্যে P, V ও T উৎপাদক তিনটির যে-কোন দুইটি জানা থাকিলে তৃতীয়টি সমীকরণ (৩) হইতে হিসাব করিয়া বাহির করা যাইবে।

(২) এক গ্রাম-অণু গ্যাস লওয়া হইলে উহার ধ্রুবক হিসাবে kর পরিবর্তে R লেখা হয়। দেখা গিয়াছে যে, সকল প্রকার গ্যাসের এক গ্রাম-অণুর জন্য ধ্রুবক Rএর মান একই। এইজন্য Rকে গ্যাসের বিশ্বধ্রুবক (universal gas constant) বলা হয়।

$R = \frac{PV}{T} = \frac{P_o V_o}{T_o}$, [V_o এখানে স্বাভাবিক উষ্ণতা T_o ও স্বাভাবিক চাপ P_oতে গ্যাসের আয়তন। $P_o = 1{\cdot}013 \times 10^6$ ডাইন/সে.মি.^{2}, $T_o = 273°$ সে. পরম; এ্যাভোগ্যাড্রোর সূত্র অনুযায়ী, এক গ্রাম-অণু যে-কোন গ্যাস স্বাভাবিক চাপ ও স্বাভাবিক উষ্ণতায় 22·4 লিটার (=22,400 ঘন সে.মি.) আয়তন অধিকার করে; অর্থাৎ, V_o হইল 22400 ঘন সে মি.।]

তাহা হইলে, $R = \frac{1{\cdot}013 \times 10^6 \times 22{,}400}{273} = 8{\cdot}31 \times 10^7 \frac{\text{ডাইন} \times \text{ঘন সে.মি.}}{\text{সে.মি.}^2 \times \text{° সে.}}$

$= 8{\cdot}31 \times 10^7$ ডাইন-সে.মি./° সে. $= 8{\cdot}31 \times 10^7$ আর্গ/° সে.।

১৪৮। গ্যাসের ঘনত্ব পরিবর্তনের সূত্র:—মনে কর যে, M ভরের কোন গ্যাসের প্রারম্ভিক ঘনত্ব D, আয়তন V ও চাপ P এবং চূড়ান্ত ঘনত্ব D_1, আয়তন V_1 ও চাপ P_1।

তাহা হইলে, $M = V \times D = V_1 \times D_1$;

$$V = \frac{M}{D} \text{ এবং } V_1 = \frac{M}{D_1}$$

গ্যাসের সাধারণ সমীকরণ হইতে, $\frac{PV}{T}=\frac{P_1V_1}{T_1}=$ ধ্রুবক।

সুতরাং, $$\frac{P\times\frac{M}{D}}{T}=\frac{P_1\times\frac{M}{D_1}}{T_1}=\text{ধ্রুবক};$$

বা, $$\frac{P}{TD}=\frac{P_1}{T_1D_1}=\text{একটি ধ্রুবক} \quad \cdots \quad \cdots \quad (১)$$

বিশেষ ক্ষেত্র : (১) স্থির উষ্ণতায় কোন গ্যাসের ঘনত্ব পরিবর্তিত হইলে, সমীকরণ (১)এ

$T=T_1$ হইবে, এবং $\frac{P}{D}=\frac{P_1}{D_1}=$ একটি স্থির সংখ্যা, হইবে ... (২)

অথবা বলা যায়, $P\propto D$, T অপরিবর্তিত থাকিলে।

অতএব, স্থির উষ্ণতায় যে-কোন গ্যাসের ঘনত্ব উহার চাপের সহিত সরল সমানুপাতিক হইবে।

(২) চাপ স্থির রাখিয়া উষ্ণতা-পরিবর্তন করা হইলে, সমীকরণ (১)এ

$P=P_1$ হইবে, এবং তাহা হইলে, $T\times D=T_1\times D_1=$ একটি স্থির সংখ্যা হইবে ... ... (৩)

অথবা বলা যায়, $D\propto\frac{1}{T}$ P অপরিবর্তিত থাকিলে ... (৪)

সুতরাং, দেখা যাইতেছে যে, **চাপ স্থির থাকিলে যে-কোন গ্যাসেরই ঘনত্ব উহার পরম তাপমাত্রার ব্যস্ত সমানুপাতিক হইবে।**

Examples

1. A constant pressure air-thermometer gives the following readings. Position of mercury pellet at 0°C.=7 ; that at 100°C.=17 ; position when the air-thermometer is in a boiling solution=19. Find the temperature of the boiling solution.

উত্তর : প্রথমতঃ নেওয়া যাক্, $\gamma_p=\frac{V_{100}-V_0}{V_0\times100}$ এবং দ্বিতীয়তঃ, $\gamma_p=\frac{V_t-V_0}{V_0\times t}$; এখানে t একটি তরলের তাপমাত্রা সূচীত করিতেছে।

$$\therefore\ \frac{V_t-V_0}{V_0\times t}=\frac{V_{100}-V_0}{V_0\times100};\ \text{বা},\ t=\frac{V_t-V}{V_{100}-V_0}\times100=\left(\frac{19-7}{17-7}\times100\right)^\circ\text{সে.}=120^\circ\ \text{সে.}$$

[ধরিয়া লওয়া হইতেছে যে, থার্মোমিটারের অন্তর্গত বায়ুর আয়তন দৈর্ঘ্যের পাঠের সহিত সমানুপাতিক, অর্থাৎ থার্মোমিটারটির প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল সর্বত্র সমান।]

2. *The pressure of air in a constant volume air-thermometer is 72 cms. of mercury at 0°C., 100 cms. at 100°C. and 79 cms. at room temperature. Find the temperature of the room.*

উত্তর ঃ ধরা যাক্ যে, নির্ণেয় উষ্ণতা $= t°$ সে ।

বায়ুর চাপ-গুণাঙ্ক, $\gamma_v = (P_{100} - P_0)/[P_0 \times (100-0)] = \frac{100-72}{72 \times (100-0)}$ ... (১)

এবং, $\gamma_v = \frac{79-72}{72 \times (t-0)}$ ও বটে ... ... (২)

তাহা হইলে সমীকরণ (১) ও (২) হইতে, $\frac{28}{72 \times 100} = \frac{7}{72 \times t}$; বা, $t = \frac{100}{4} = 25°$ সে. ।

3. *One litre of hydrogen at N.T.P. weighs 0·0896 gm. Find the value of R considering one gramme-molecule of the gas. Find the value of the gas constant for 8 gms. of hydrogen.*

উত্তর ঃ (ক) দেওয়া আছে যে, স্বাভাবিক চাপে ও স্বাভাবিক উষ্ণতায় 1000 ঘন সে.মি. হাইড্রোজেনের ভর = 0 0896 গ্রাম ; সুতরাং, 1 গ্রাম-অণু হাইড্রোজেন (বা 2 গ্রাম হাইড্রোজেন, হাইড্রোজেনের আণবিক ভার 2 বলিয়া) স্বাভাবিক চাপে ও স্বাভাবিক উষ্ণতায় $\frac{1000}{0·0896} \times 2$ ঘন সে.মি. আয়তন অধিকার করে। এই আয়তনকে V_0 বলা হইলে, $\frac{1000}{0·0896} \times 2 = 22,321$ ঘন সে মি. । স্বাভাবিক চাপ, $P_0 =$ 1·013×10 ডাইন, প্রতি বর্গ সে.মি.তে ; স্বাভাবিক উষ্ণতা, $T_0 = 273°$ সে.-পরম ।

তাহা হইলে, $R = \frac{P_0 V_0}{T_0} = \frac{(1·013 \times 10^6) \times (22321)}{273} = 8·28 \times 10^7$ আর্গ/°সে. ;

(খ) 8 গ্রাম হাইড্রোজেনের জন্য ধ্রুবক kর মান নির্ণয়—

$k = nR$, [n হইলে গ্রাম-অণুর সংখ্যা] ।

এই ক্ষেত্রে, $n = \frac{8}{2} = 4$ $\left[\text{কারণ } n = \frac{\text{ভর}}{\text{এক গ্রাম-অণু-পরিমিত ভর}} \right]$

∴ $k = 4 \times 8·28 \times 10^7 = 3·312 \times 10^8$ আর্গ/° সে. ।

4. *A quantity of dry air occupies a volume of 1 litre at 20°C. under a pressure equal to that of 760 mm. of mercury. At what temperature will it occupy 1500 c.c. under a pressure of 750 mm. of mercury ?*

উত্তর ঃ আমরা জানি যে, $\frac{P_0 V_0}{T_0} = \frac{P_1 V_1}{T_1} = k$ ।

প্রদত্ত উপাত্ত অনুযায়ী, $P_0 = 760$ মি.মি. ; $V_0 = 1$ লিটার $= 1000$ ঘন সে.মি. ; $T_0 = 273 + 20 = 293°$ সে.-পরম ।

দ্বিতীয়তঃ, $P_1=750$ মি.মি. ; $V_1=1500$ ঘন সে.মি. ; $T=?$

তাহা হইলে, পূর্ববর্তী সমীকরণ অনুযায়ী, $\frac{760\times1000}{293}=\frac{750\times1500}{T_1}$;

অথবা, $T_1=433{\cdot}71°$ সে.-পরম ; অর্থাৎ, $t_1=160{\cdot}71°$ সে.।

5. *A litre of air at 0°C. and under atmospheric pressure weighs 1·2 gms. Find the mass of the air required to produce at −18°C. a pressure of 3 atmospheres in a volume of 75 c.c.*

উত্তর : মনে কর, 1 বায়ুমণ্ডল-চাপ$=P_o$ ।

তাহা হইলে, এক্ষেত্রে যে চাপ সৃষ্টি করিতে হইবে তাহা হইবে $3P_o=P_1$, মনে কর। তাপমাত্রা, $-18°$ সে. $=-18+273=255°$ সে-পরম। তাপমাত্রা, $0°$ সে.$=0+273=273$ সে.-পরম$=T_o$ । নির্ণেয় ভরের বায়ুর আয়তন দেওয়া আছে 75 ঘন সে.মি.$=V_1$, মনে কর।

আমরা জানি,, $\frac{P_o V_o}{T_o}=\frac{P_1 V_1}{T_1}$; বা, $\frac{P_o V_o}{0+273}=\frac{3P_o\times75}{-18+273}$ ।

এই সমীকরণের, $V_o=0°$ সে.-তে P_o চাপে নির্ণেয় ভরের বায়ুর আয়তন। এই সমীকরণ হইতে $V_o=240{\cdot}88$ ঘন সে মি.। $0°$ সে. উষ্ণতা ও P_o চাপে 1000 ঘন সে.মি. বায়ুর ভর$=1{\cdot}2$ গ্রাম। তাহা হইলে, $0°$ সে. উষ্ণতায় ও P_o চাপে 240·88 ঘন সে.মি. বায়ুর ভর$=\frac{1{\cdot}2}{1000}\times240{\cdot}88=0{\cdot}289$ গ্রাম$=$বায়ুর নির্ণেয় ভর।

6. *The measurement of a room is 50ft.×30ft.×25ft. If the temperature of the room is increased from 20°C. to 25°C., calculate what percentage of the original volume of air will be expelled from the room, the pressure remaining constant.*

উত্তর : বায়ুর প্রারম্ভিক আয়তন $(V_1)=$ঘরের আয়তন$=(50\times30\times25)$ ঘনফুট। বায়ুর প্রারম্ভিক তাপমাত্রা$=T_1=20+273$; বায়ুর চূড়ান্ত তাপমাত্রা$=25+273=T_2$ ।

মনে কর, 25° সে.তে ঘরের বায়ুর আয়তন V_2 হয় (চাপ অপরিবর্তিত থাকিলে)। তাহা হইলে চার্লস্‌এর সূত্র অনুযায়ী, $V_2/T_2=V_1/T_1$; বা $V_2=V_1\times\frac{T_2}{T_1}=(50\times30\times25)\times\frac{25+273}{20+273}$ $=38139{\cdot}9$ ঘনফুট।

বহিষ্কৃত বায়ুর আয়তন$=V_2-V_1=38139{\cdot}9-(50\times30\times25)=639{\cdot}9$ ঘনফুট।

বায়ুর যে অংশ বহিষ্কৃত হইবে তাহা$=\frac{639{\cdot}9}{38139{\cdot}9}\times100=1{\cdot}67\%$ ।

Exercises

1. Why is it necessary to take account of the pressure of a gas in determining its co-efficient of cubical expansion ? Define Charles' law.

2. Explain fully the following statement—'Every gas expands by $\frac{1}{273}$ of its volume at 0°C. per °C. rise of temperature.' Is there any special significance of the expression 'of its volume at 0°C.' ?

3. Show that in the case of an ideal gas, the volume co-efficient (γ_p) of thermal expansion is equal to the pressure co-efficient (γ_v).

4. A flask containing dry air is corked up at 20°C., the pressure being one atmosphere. Calculate the temperature at which the cork will be blown out, if this occurs when the pressure inside the flask is 1·7 atmospheres. উত্তর : 225·1° সে.।

5. Describe a simple laboratory experiment by which the mean co-eff. of cubical expansion of air between ice-point and steam-point may be determined in the laboratory.

6. Deduce the equation, $PV=RT$. Why is R called the universal gas constant ?

7. Given that one litre of hydrogen at N.T.P. weighs 0·0896 gm. ; calculate the value of R. উত্তর : $8·3\times10^7$ আর্গ /° সে.।

8. Explain what is meant by Normal Temperature and Pressure (N.T.P.).

9. A litre of hydrogen at N. T. P. weighs 0·9 gm. What is the weight of a litre of this gas at 27°C. and 75 cm. pressure ? উত্তর : 0·8 গ্রাম।

10. Deduce the relation that exists between the pressure, volume, and temperature of a gas.

11. At what temperature would the volume of a gas, initially at 0°C., be doubled, if the pressure at the same time increases from that of 700. mm. to 800 mm. of mercury ? উত্তর : $t=351°$ সে.।

12. A gas at 13°C. has its temperature raised so that its volume is doubled, the pressure remaining constant. What is the final temperature ? উত্তর : 299° সে.।

13. What do you mean by 'absolute temperature' ? Find the value of the absolute zero on the Fahrenheit scale. উত্তর : −459·4° ফারেনহাইট।

14. Compare the density of air at 10°C. and 750 mm. pressure with its density at 15°C. and 760 mm. pressure. উত্তর : 54 ; 53·77।

15. Explain how thermal expansion of air can be utilised as a simple method for measuring temperature.

পঞ্চম পরিচ্ছেদ

তাপ-পরিমাপ ঃ আপেক্ষিক তাপ ঃ ক্যালরিমিতি

(Measurement of Heat : Specific Heat : Calorimetry)

৪৯। তাপ পরিমাপযোগ্য ঃ—তাপ একপ্রকারের শক্তি। কঠিন, তরল ও গ্যাসীয় সকল প্রকার পদার্থই যে-কোন তাপমাত্রাতেই কিছু তাপশক্তির অধিকারী হয়। এই তাপ পরিমাপযোগ্য। এই অনুচ্ছেদে তাপ-পরিমাপের পন্থাগুলি আলোচিত হইবে।

তাপ-পরিমাপের বিষয়ের নাম ক্যালরিমিতি (calorimetry)। তাপের একটি এককের নাম 'ক্যালরি'। ইহা হইতেই ক্যালরিমিতি নামের উদ্ভব হইয়াছে।

পূর্বেই বলা হইয়াছে যে, কোন দুইটি বস্তুর মধ্যে তাপের আদানপ্রদান উহাদের তাপের পরিমাণের উপর নির্ভর করে না। একটি অপরটিকে তাপ দান করিবে, না উহা হইতে তাপ গ্রহণ করিবে, তাহা নির্ণীত হয় উহাদের তাপমাত্রার দ্বারা। তাপ উচ্চ তাপমাত্রার বস্তু হইতে নিম্ন তাপমাত্রার বস্তুতে যায়। তাপ হারাইবার ফলে উচ্চ তাপ-মাত্রার বস্তুটির তাপমাত্রা কমে এবং তাপ লাভ করিবার ফলে নিম্ন তাপমাত্রার বস্তুটির তাপমাত্রা বাড়ে।

কোন বস্তু কি পরিমাণ তাপ লাভ করিবে বা ত্যাগ করিবে তাহা যেসকল উৎপাদক (factors)দ্বারা নির্ণীত হয়, তাহাদের বিষয়ই আমরা এখন আলোচনা করিব।

(১) কোন বস্তুর তাপশক্তির পরিমাণ উহার ভরের পরিমাণের উপর নির্ভর করবে।—এককাপ চা করিতে দুই চামচ চিনি লাগিলে, পাঁচ কাপ চা করিতে কয় চামচ চিনি লাগিবে? স্পষ্টতঃই দশ চামচ, অর্থাৎ সবটা চা সমান মিষ্টি করিতে হইলে চিনির পরিমাণ চায়ের ভরের আনুপাতিক হইবে। অনুরূপভাবে, যে বস্তুর ভর যত বেশি, উহাকে কোন নির্দিষ্ট উষ্ণতায় তুলিতে তত বেশি তাপের প্রয়োজন হইবে। অর্থাৎ কোন নির্দিষ্ট পরিমাণ উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীয় তাপ বস্তুটির ভরের আনুপাতিক হইবে। 10 গ্রাম জলকে ঘরের উষ্ণতা হইতে স্ফুটনাঙ্কে তুলিতে যতখানি তাপ লাগিবে, 1 গ্রাম জলকে ঘরের উষ্ণতা হইতে স্ফুটনাঙ্কে তুলিতে তাহার দশ ভাগের একভাগ তাপ প্রয়োজন হইবে।

একটি টেস্ট টিউবে কিছুটা জল লইয়া বুন্‌সেন বার্‌নারের শিখাতে ধরিলে ঐ জল অল্প সময়েই গরম হইয়া যায়, কিন্তু এক বীকার জল যদি ঐ শিখাতে ধরা হয়, তবে জল গরম হইতে অনেক বেশি সময় লাগিবে। বেশি সময় ধরিয়া তাপ দেওয়ার অর্থই হইল বেশি পরিমাণ তাপ দেওয়া। তাই সহজেই বোঝা যায় যে, ভর বেশি হইলে তাপ বেশি প্রয়োজন হয়। ইহার বিপরীত কথাও সত্য, অর্থাৎ কোন বস্তুর উষ্ণতা নির্দিষ্ট পরিমাণে কমিলে উহা যতটা তাপ হারাইবে তাহা উহার ভরের আনুপাতিক হইবে। অধিক ভরের বস্তু নির্দিষ্ট পরিমাণে ঠাণ্ডা হইতে কম ভরের বস্তু অপেক্ষা অধিক তাপ হারাইবে। **অতএব বলা যায়, প্রত্যেক বস্তুরই বর্তমান অবস্থাগত মোট তাপশক্তি উহার ভরের আনুপাতিক।**

(২) কোন বস্তুর মোট তাপশক্তির পরিমাণ উহার তাপমাত্রার (বা উষ্ণতার) উপরও নির্ভর করিবে।—একই পদার্থের দুইটি সমান ভরের বস্তু লওয়া হইল। উহাদের তাপমাত্রা বিভিন্ন হইলে, কম উষ্ণ বস্তুটিতে বেশি উষ্ণ বস্তুটি অপেক্ষা কম তাপ থাকিবে। এইজন্যই একটি ঠাণ্ডা বস্তুকে গরম করিতে হইলে তাপ দিতে হয়। শীতকালে শরীর গরম করিবার জন্য আমরা আগুনের সামনে বসি।

আর-একটি দৃষ্টান্ত আলোচনা করিয়া বর্তমান তত্ত্বটি বুঝিতে চেষ্টা করা যাক্। সাধারণ উষ্ণতাবিশিষ্ট একটি সীসার বল একচাক মোমের উপর রাখিলে বলটি মোমের পৃষ্ঠের উপরই থাকিবে। কিন্তু, বলটি গরম করিয়া মোমের উপর রাখা হইলে মোম গলিয়া বলটি কিছুটা ভিতরে ঢুকিয়া পড়ে। কেন? ইহার কারণ এই যে, এখন বলটির তাপমাত্রা বেশি বলিয়া ইহাতে পূর্বাপেক্ষা বেশি পরিমাণ তাপ আছে। ঠাণ্ডা হইয়া মোমের উষ্ণতায় নামিতে নামিতে এখন সে যে পরিমাণ তাপ মোমকে দান করিবে ঐ লব্ধ তাপে কিছু পরিমাণ মোম গরম হইয়া শেষ পর্যন্ত গলিবে। বলটি তখন আপন ভারে ঐ গলিত মোমের মধ্যে কিছুটা ভিতরে ঢুকিয়া পড়ে।

কোন **ঠাণ্ডা বস্তুকে গরম করিতে হইলে প্রয়োজনীয় তাপের পরিমাণ উষ্ণতাবৃদ্ধির পরিমাণের উপর নির্ভর করিবে এবং উষ্ণতাবৃদ্ধির আনুপাতিক হইবে।** কোন নির্দিষ্ট পরিমাণ জলের উষ্ণতা সামান্য বৃদ্ধি করিতে যতটা তাপ লাগিবে, অনেক বেশি বৃদ্ধি করিতে তাহা অপেক্ষা অনেক বেশি তাপ লাগিবে। প্রথম ক্ষেত্রে যদি উষ্ণতা 20° সে. হইতে বাড়িয়া 40° সে. হয়, অর্থাৎ 20° সে. বাড়ে এবং দ্বিতীয় ক্ষেত্রে যদি উষ্ণতা 20° সে. হইতে বাড়িয়া 80° সে. হয়, অর্থাৎ 60° বাড়ে, তাহা হইলে দ্বিতীয় ক্ষেত্রে প্রথম ক্ষেত্রের তাপের 3 গুণ তাপ প্রয়োজন হইবে।

(৩) কোন বস্তুর মোট তাপশক্তির পরিমাণ উহার পদার্থগত আপেক্ষিক তাপের (specific heat of the material) উপর নির্ভর করিবে।—এই তত্ত্বটি বুঝাইবার জন্য দুইটি পরীক্ষার বিষয় আলোচনা করা হইতেছে।

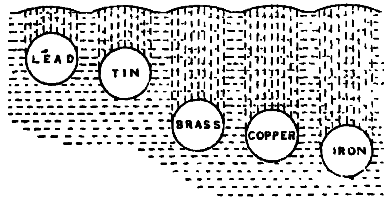
পরীক্ষা (ক).—তুলাদণ্ডের বাম দিকের তুলাপাত্রে জলসহ একটি বীকার রাখ। তারপর একটি পিপেটের সাহায্য লইয়া জলের পরিমাণ কমাইয়া বাড়াইয়া বীকার ও জলের মোট ওজন 300 গ্রামের সমান করিয়া লও। জলসহ বীকারটি সরাইয়া লইয়া উহাকে একটি ত্রিপাদধানীর (tripod stand) উপরস্থ তারের জালের উপর বসাও এবং একটি বুন্‌সেন বারনারের সাহায্যে বীকারটির জল গরম কর। জল ফুটিয়া উঠিতে কত সময় লাগে তাহা ঘড়ি ধরিয়া দেখ।

ইহার পর জল ফেলিয়া দিয়া কিছু সীসার গুলি বীকারটির মধ্যে রাখ এবং উহাতে কিছু জল দাও। তারপর বীকারটি পুনরায় বাম তুলাপাত্রের উপর রাখিয়া পিপেটের সাহায্যে বীকারের জল কমাইয়া বাড়াইয়া জল ও সীসাসহ বীকারের মোট ওজন আবার 300 গ্রামের সমান কর। এখন এই জল ও সীসা পূর্বের মত ঐ একই বার্নারের সাহায্যে গরম কর। জল ফুটিয়া উঠিতে এখন কত সময় লাগে ঘড়ি ধরিয়া দেখ। এই সময় পূর্বের সময় অপেক্ষা অনেক কম হইবে। ইহার অর্থ হইল এই যে, দ্বিতীয় ক্ষেত্রে অনেক কম তাপ লাগিবে। লক্ষ্য করিতেছ যে, উভয় ক্ষেত্রেই উষ্ণতাবৃদ্ধির পরিমাণ ও বস্তুর মোট ভর সমানই রাখা হইয়াছে।

তবেই ঘটনাটি দাঁড়াইল এই যে, কিছুটা জলের পরিবর্তে সমান ভরের সীসা রাখিলে একই উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য অনেক কম তাপের প্রয়োজন হইবে। অতএব আমরা এই সিদ্ধান্ত করিতে পারি যে, ভর ও উষ্ণতাবৃদ্ধি ছাড়াও আরেকটি উৎপাদক (factor) আছে যাহা বস্তুর অন্তর্গত তাপের পরিমাণ নিয়ন্ত্রিত করে। বস্তুর এই ধর্মটির নাম হইল উহার **পদার্থগত আপেক্ষিক তাপ** বা সংক্ষেপতঃ, **আপেক্ষিক তাপ** (specific heat)। প্রত্যেক পদার্থেরই নিজস্ব আপেক্ষিক তাপ নামে একটি ধর্ম আছে।

দ্রষ্টব্য : একই পদার্থের বিভিন্ন গঠনগত অবস্থাতে আপেক্ষিক তাপ বিভিন্ন হইতে পারে। বরফ, জল ও জলীয় বাষ্প একই পদার্থ কিন্তু গঠনগত বিভিন্নতার দরুণ ইহাদের আপেক্ষিক তাপ বিভিন্ন।

পরীক্ষা (খ).—ভিন্ন ভিন্ন পদার্থের আপেক্ষিক তাপ যে বিভিন্ন তাহা নিম্নলিখিত পরীক্ষা হইতে বুঝা যায়। বিভিন্ন ধাতুর তৈয়ারি কয়েকটি ছোট বল লও। ধরা যাক্ যে, ইহাদের একটি সীসার, একটি টিনের, একটি পিতলের, একটি তামার ও একটি লোহার (চিত্র ৩২)। সব কয়টি বলের ভর যেন সমান হয়। বলগুলিকে একত্রে কোন পাত্রে জলের মধ্যে রাখিয়া উত্তপ্ত করিয়া উহাদের তাপমাত্রা একই করিয়া লও।



চিত্র ৩২

বলগুলি পর পর জল হইতে দ্রুত তুলিয়া একটি মোমের চাকের উপর একটু দূরে দূরে বসাইয়া দাও। দেখিবে যে, বিভিন্ন বল বিভিন্ন গভীরতা পর্যন্ত মোমের মধ্যে প্রবিষ্ট হইয়াছে। প্রত্যেকটি

বল-এর ভর সমান। প্রারম্ভিক ও চূড়ান্ত উষ্ণতাও প্রত্যেকটি বল-এর ক্ষেত্রে একই। কিন্তু ইহারা বিভিন্ন গভীরতা পর্যন্ত মোমের মধ্যে প্রবেশ করিয়াছে। ইহার অর্থ এই যে, বিভিন্ন বল বিভিন্ন পরিমাণ তাপ মোমকে দান করিয়াছে। ভর ও উষ্ণতাহ্রাস প্রতি ক্ষেত্রেই এক হইলেও ইহাদের বিভিন্ন পরিমাণ তাপদানের কারণ এই যে, বলগুলি বিভিন্ন পদার্থ দ্বারা তৈয়ারি বলিয়া উহাদের পদার্থগত আপেক্ষিক তাপ বিভিন্ন।

শেষ পর্যন্ত মোট কথা দাঁড়াইল এই যে, **কোন বস্তুর দ্বারা লব্ধ বা ত্যক্ত তাপ-তিনটি উৎপাদকের উপর নির্ভর করে, যথা (১) বস্তুর ভর, (২) উহার আপেক্ষিক তাপ, এবং (৩) উহার উষ্ণতার পরিবর্তনের পরিমাণ।**

৯৮। **তাপের একক** :—তাপ একপ্রকারের শক্তিবিশেষ এবং পরিমাপযোগ্য। ইহার জন্য একটি স্বতন্ত্র একক প্রয়োজন। ভিন্ন ভিন্ন পদ্ধতিতে তাপের ভিন্ন ভিন্ন একক ব্যবহৃত হয়। তাপের অনেকগুলি একক প্রচলিত আছে। ইহাদের কয়েকটি এককের কথা এখানে বলা হইল :—

(ক) **ক্যালরি** (calorie, সংক্ষেপতঃ ক্যাল. লেখা যায়)—1 গ্রাম জলের তাপমাত্রা 1° সে. বাড়াইতে যে পরিমাণ তাপ প্রয়োজন হয় উহাকে 1 ক্যালরি তাপ বলে। এই এককে তাপের গ্রাম-ডিগ্রী সেন্টিগ্রেড এককও বলা হয়। স্পষ্টতঃই ইহা একটি সি. জি. এস্. একক। পৃথিবীর সর্বত্র বৈজ্ঞানিকগণ তাপের এই একক ব্যবহার করিয়া থাকেন।

1 গ্রাম জলের তাপমাত্রা 1° সে. তুলিতে যতটা তাপ লাগিবে তাহা ধ্রুব নহে, উষ্ণতার বিভিন্ন পর্যায়ে ঐ তাপের পরিমাণে তারতম্য ঘটে। 1 গ্রাম জলকে 30° সে. হইতে 31° সে.তে তুলিতে যতটা তাপ লাগিবে, 60° সে. হইতে 61° সে.তে তুলিতে তাহা হইতে ভিন্ন পরিমাণ তাপের প্রয়োজন হইবে, অর্থাৎ তথ্যটি হইল এই যে, জলের আপেক্ষিক তাপ একেবারে ধ্রুব নয়, উহা উষ্ণতার উপর নির্ভরশীল।

প্রত্যেক এককই ধ্রুব হওয়া উচিত। উপরে বর্ণিত তাপের একককটিকে ধ্রুবত্ব ও নিশ্চয়তা গুণসম্পন্ন করিতে গিয়া পদার্থবিজ্ঞানে দুই রকম বিশেষ ক্যালরির উদ্ভব হইয়াছে; যথা 15° সে.-ক্যালরি (15° *C*.-calorie) এবং গড় ক্যালরি (mean calorie)।

15° সে. ক্যালরি।—1 গ্রাম জলকে 14·5° সে. হইতে 15·5° সে. উষ্ণতায় তুলিতে যতখানি তাপ প্রয়োজন উহাকে এক 15° সে.-ক্যালরি তাপ বলা হয়। 15° সে. হইল

14·5° সে. ও 15·5° সে.এর গড়। নিখুঁত বৈজ্ঞানিক পরিমাপে এই 15° সে.-ক্যালরি একক হিসাবে ব্যবহার করা হয়।

গড় ক্যালরি (mean calorie).—1 গ্রাম জলকে 0° সে. হইতে 100° সে. পর্যন্ত তুলিতে যতটা তাপের প্রয়োজন হয় উহার $\frac{1}{100}$ ভাগকে এক গড় ক্যালরি তাপ বলা হয়।*

দ্রষ্টব্য : সাধারণ হিসাবপত্রে জলের আপেক্ষিক তাপ উষ্ণতার বিভিন্ন পর্যায়ে ধ্রুব বলিয়া ধরা হয়, অর্থাৎ সকল উষ্ণতাতেই 1 গ্রাম জলকে 1° সে. তুলিতে 1 ক্যালরি তাপ লাগিবে ধরা হয়।

(খ) **বৃটিশ-তাপ-একক.**—ইংরাজীতে ইহাকে B. Th. U. বা B.t.u. (ব্রিটিশ থার্মাল ইউনিট) লেখা হয়। 1 পাউণ্ড জলের তাপমাত্রা 1° ফা. তুলিতে যতটা তাপ দরকার হয় উহাকে এক বৃটিশ-তাপ-একক বলা হয়। এই একক স্পষ্টতঃই এফ্. পি. এস্. পদ্ধতি অনুযায়ী গঠিত হইয়াছে। ইহাকে পাউণ্ড-ডিগ্রী ফারেনহাইট-একক বলা যায়। ইহা তাপের একটি বড় একক। ইঞ্জিনীয়ারিং শাস্ত্রে ইহা ব্যাপকভাবে ব্যবহৃত হইয়া থাকে।

(গ) **সেণ্টিগ্রেড-তাপ-একক** (সেণ্টিগ্রেড হিট্ ইউনিট, বা C. H. U.)—1 পাউণ্ড জলের তাপমাত্রা 1° সে. তুলিতে যতটা তাপ দরকার হয় উহাকে এক সেণ্টিগ্রেড-তাপ-একক বলা হয়। ইহাকে পাউণ্ড-ডিগ্রী সেণ্টিগ্রেড-একক বলা যায়। স্পষ্টতঃই এই এককটি সি. জি. এস্. ও এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিদ্বয় হইতে উদ্ভূত একটি মিশ্র একক। ইঞ্জিনীয়ারিং শাস্ত্রে এই এককের ব্যাপক ব্যবহার আছে।

তাপের বিভিন্ন এককের পারস্পরিক সম্পর্ক

1 বৃটিশ-তাপ-একক = 1 পাউণ্ড × 1° ফা. = 453·6 গ্রাম × $\frac{5°}{9}$ সে. = 252 ক্যালরি।

1 সেণ্টিগ্রেড-তাপ-একক = 1 পাউণ্ড × 1° সে. = 453·6 গ্রাম × 1° সে = 453·6 ক্যালরি।

1 সেণ্টিগ্রেড-তাপ-একক = 1 পাউণ্ড × 1° সে. = 1 পাউণ্ড × $\frac{9°}{5}$ ফা. = $\frac{9}{5}$ বৃটিশ-তাপ-একক।

৫২। **আপেক্ষিক তাপ (specific heat) :**—কোন পদার্থের আপেক্ষিক তাপ হইল উহার কোন নির্দিষ্ট ভরের নির্দিষ্ট উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীয় তাপ এবং ঐ সমান ভরের জলের ঐ সমান উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীয় তাপের অনুপাত।

---

* 1 গ্রাম জলকে 15° সে. হইতে 16° সে. পর্যন্ত তুলিতে যতটা তাপ লাগে গড় ক্যালরির পরিমাণ [illegible] প্রায় সমান।

মনে কর যে, s হইল কোন পদার্থের আপেক্ষিক তাপ। তাহা হইলে;

$$s = \frac{\text{উক্ত পদার্থের } m \text{ গ্রামকে } t^\circ \text{ সে. তুলিতে প্রয়োজনীয় তাপের পরিমাণ}}{m \text{ গ্রাম জলকে } t^\circ \text{ সে. তুলিতে প্রয়োজনীয় তাপের পরিমাণ}}$$

$$= \frac{m \times (1 \text{ গ্রাম পদার্থকে } t^\circ \text{ সে. তুলিতে প্রয়োজনীয় তাপের পরিমাণ})}{m \times (1 \text{ গ্রাম জলকে } t^\circ \text{ সে. তুলিতে প্রয়োজনীয় তাপের পরিমাণ})}$$

$$= \frac{1 \text{ গ্রাম পদার্থকে } t^\circ \text{ সে. তুলিতে প্রয়োজনীয় তাপের পরিমাণ}}{1 \text{ গ্রাম জলকে } t^\circ \text{ সে. তুলিতে প্রয়োজনীয় তাপের পরিমাণ}}$$

$$= \frac{t \times (1 \text{ গ্রাম পদার্থকে } 1^\circ \text{ সে. তুলিতে প্রয়োজনীয় তাপের পরিমাণ})}{t \times (1 \text{ গ্রাম জলকে } 1^\circ \text{ সে. তুলিতে প্রয়োজনীয় তাপের পরিমাণ})}$$

$$= \frac{1 \text{ গ্রাম পদার্থকে } 1^\circ \text{ সে. তুলিতে প্রয়োজনীয় তাপের পরিমাণ}}{1 \text{ গ্রাম জলকে } 1^\circ \text{ সে. তুলিতে প্রয়োজনীয় তাপের পরিমাণ}}$$

$$= \frac{1 \text{ গ্রাম পদার্থকে } 1^\circ \text{ সে. তুলিতে প্রয়োজনীয় তাপের পরিমাণ}}{1 \text{ ক্যালরি}}$$

$\therefore$ 1 গ্রাম পদার্থকে 1° সে. তুলিতে প্রয়োজনীয় তাপ $= s$ ক্যালরি।

অতএব আমরা বলিতে পারি যে, **কোন পদার্থের 1 গ্রামের উষ্ণতা 1° সে. বৃদ্ধি করিতে হইলে যত (s) একক তাপ প্রয়োজন উহাই হইল ঐ পদার্থের আপেক্ষিক তাপ।**

দৃষ্টান্ত ঃ লোহার আপেক্ষিক তাপ 0·11, অর্থাৎ 0·11 ক্যালরি তাপ দিলে 1 গ্রাম লোহার 1° সে. উষ্ণতাবৃদ্ধি ঘটিবে ; অর্থাৎ, 1 গ্রাম জলের 1° সে. উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য যে তাপের প্রয়োজন তাহার 0·11 ভাগ তাপ প্রয়োজন হইবে 1 গ্রাম লোহার 1° সে. উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য। অনুরূপভাবে বুঝিতে পারা যায় যে, 1 পাউণ্ড লোহার 1° সে. উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীয় তাপ হইল 011 সেন্টিগ্রেড-তাপ-একক (C. H. U.) এবং 1 পাউণ্ড লোহার 1° ফা. উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীয় তাপ হইল 0·11 বৃটিশ-তাপ-একক (B. t. u.)।

আজকাল আপেক্ষিক তাপকে একটি সংখ্যার দ্বারা প্রকাশ না করিয়া তাপ-এককে প্রকাশ করার রীতি অবলম্বন করা হইতেছে; যথা—s ক্যালরি, প্রতি গ্রামে, প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে, অথবা s বৃটিশ-তাপ-একক, প্রতি পাউণ্ডে, প্রতি ডিগ্রী ফারেনহাইটে, বা s সেন্টিগ্রেড-তাপ-একক, প্রতি পাউণ্ডে, প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে, এইরূপে।

৫২। **কোন বস্তু কর্তৃক লব্ধ বা ত্যক্ত তাপের পরিমাণ :** মনে কর যে, m গ্রাম ভরের এবং s আপেক্ষিক তাপের কোন বস্তুকে তাপ দিয়া উহার উষ্ণতা $t°$ সে. বৃদ্ধি করা হইল। তাহা হইলে, বস্তুটি কর্তৃক লব্ধ তাপ $=m$ গ্রাম ভরকে $t°$ সে.তে তুলিবার জন্য প্রয়োজনীয় তাপ

$=m\times 1$ গ্রাম ভরকে $t°$ সে.তে তুলিবার জন্য প্রয়োজনীয় তাপ,

$=m\times t\times$(1 গ্রাম ভরকে $1°$ সে. „ „ „ „),

$=m\times t\times s$ ক্যালরি $=mst$ ক্যালরি।

একই নিয়ম অনুযায়ী, m গ্রাম ভরের এবং s আপেক্ষিক তাপের কোন বস্তুর $t°$ সে. উষ্ণতাহ্রাস ঘটিলে, বস্তুটি দ্বারা ত্যক্ত তাপ $=mst$ ক্যালরি হইবে।

[অনুরূপভাবে, m পাউণ্ড ভরের এবং s আপেক্ষিক তাপের কোন বস্তুর $t°$ সে. উষ্ণতাবৃদ্ধি ঘটিলে, বস্তুটি দ্বারা লব্ধ তাপ $=mst$ সেন্টিগ্রেড-তাপ-একক, হইবে। আবার m পাউণ্ড ভরের এবং s আপেক্ষিক তাপের কোন বস্তুর $t°$ ফা. উষ্ণতাবৃদ্ধি ঘটিলে, বস্তুটি দ্বারা লব্ধ তাপ $=mst$ বৃটিশ-তাপ-একক, হইবে।

সুতরাং, **মনে রাখিবে,** কোন বস্তু কর্তৃক লব্ধ বা ত্যক্ত তাপ $=$ **বস্তুর ভর $\times$ আপেক্ষিক তাপ $\times$ তাপমাত্রার পার্থক্য।**

৫৩। **বস্তুর তাপধারণ ক্ষমতা (বা তাপগ্রাহীতা) (thermal capacity) এবং জলবিকল্প (বা সমার্থক জল) (Water-equivalent) :—**

কোন বস্তুর তাপধারণ-ক্ষমতা (বা তাপগ্রাহীতা),—কোন বস্তুর $1°$ উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য যে পরিমাণ তাপের প্রয়োজন হয়, উহাকে বস্তুটির তাপধারণ-ক্ষমতা বা তাপগ্রাহীতা বলা হয়। বস্তুটির ভর m ও আপেক্ষিক তাপ s হইলে, উহার তাপধারণ-ক্ষমতা (বা তাপগ্রাহীতা) $=m\times s\times 1$ তাপ-একক $=m\times s$ তাপ-একক হইবে।

সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে—উষ্ণতাবৃদ্ধি $1°$ সে. ধরিলে এবং বস্তুটির ভর m গ্রাম হইলে, উহার তাপধারণ-ক্ষমতা বা তাপগ্রাহীতা হইবে ms ক্যালরি।

এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে—ভর পাউণ্ডে প্রকাশ করিলে এবং উষ্ণতাবৃদ্ধি $1°$ ফা. ধরিলে, তাপধারণ-ক্ষমতা বা তাপগ্রাহীতা হইবে ms বৃটিশ-তাপ-একক (B. t. u.)। আবার, ভর পাউণ্ডে প্রকাশ করিলে এবং উষ্ণতাবৃদ্ধি $1°$ সে. ধরিলে তাপধারণ-ক্ষমতা বা তাপগ্রাহীতা হইবে ms সেন্টিগ্রেড-তাপ-একক (C. H. U.)।

তাহা হইলে, আপেক্ষিক তাপকে "কোন বস্তুর একক ভরের তাপ-ধারণক্ষমতা বা একক ভরের তাপগ্রাহীতা" বলিয়া একটি বিকল্প সংজ্ঞা দেওয়া যায়।

কোন বস্তুর 'জলবিকল্প বা সমার্থক জল' (water equivalent of a body).—কোন বস্তুর উষ্ণতা 1° বাড়াইবার জন্য যে তাপের প্রয়োজন উহা দ্বারা যে পরিমাণ জলের উষ্ণতা 1° বাড়ান যায় ঐ পরিমাণ জলকে বস্তুটির জলবিকল্প বা সমার্থক জল বলা হয়।

মনে কর যে, কোন বস্তুর ভর m ও আপেক্ষিক তাপ s। তাহা হইলে উহার উষ্ণতা 1° বাড়াইবার জন্য প্রয়োজনীয় তাপ $= ms$ তাপ-একক। ms একক তাপের সাহায্যে ms একক ভরের জলের উষ্ণতা 1° বাড়ান যায়। অতএব বস্তুটির জলবিকল্প $= ms$ ভর-একক। তাহা হইলে, সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে, জলবিকল্প $= ms$ গ্রাম এবং এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে জলবিকল্প $= ms$ পাউণ্ড হইবে।

জলবিকল্প (বা সমার্থক জল) ও তাপধারণ-ক্ষমতার (বা তাপ-গ্রাহীতার) মধ্যে পার্থক্য—

(১) তাপধারণ-ক্ষমতা (বা তাপগ্রাহীতা) হইল কোন বস্তুর জন্য একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ তাপ ; কিন্তু ঐ বস্তুর জলবিকল্প হইল উহার সমার্থক জলের পরিমাণ।

(২) তাপধারণ-ক্ষমতা (বা তাপগ্রাহীতা) ও জলবিকল্পের সংখ্যাগত মান একই কিন্তু, ইহাদের একক বিভিন্ন। মনে রাখিও যে, উভয় ক্ষেত্রে একই একক পদ্ধতি (সি. জি. এস্., এফ্. পি. এস্., ইত্যাদি) অনুসরণ করিলে তাপধারণ-ক্ষমতা এবং জলবিকল্প উভয়েরই আংকিক মান সমান হইবে।

জলবিকল্পের প্রকৃত তাৎপর্য এই যে, কোন বস্তু কতটা তাপ লাভ করিল বা হারাইল তাহার হিসাব করিতে বস্তুটির পরিবর্তে উহার জলবিকল্পের সমান জল ধরিয়া লইয়া গাণিতিক হিসাবপত্র করা চলে।

৫৪। ক্যালরিমিতি (calorimetry)র মূলনীতি :—ক্যালরিমিতির বহু পরীক্ষাতেই একটি উচ্চ উষ্ণতার বস্তুকে অপর-একটি নিম্ন উষ্ণতার বস্তুর সহিত মিশান হয়। ফলে, তাপ উচ্চ উষ্ণতার বস্তু হইতে নিম্ন উষ্ণতার বস্তুতে যাইতে থাকে। তখন উচ্চ উষ্ণতার বস্তুর উষ্ণতা কমে ও নিম্ন উষ্ণতার বস্তুর উষ্ণতা বাড়ে। শেষ পর্যন্ত উভয় বস্তুই এক সাধারণ উষ্ণতা প্রাপ্ত হয়। এই সাধারণ উষ্ণতা বস্তুদুইটির প্রারম্ভিক

উষ্ণতা-দুইটির মধ্যবর্তী হইবে। বস্তুদুইটির মিলিত সংস্থা হইতে যদি কোন তাপ বাহিরে না যায় ও বাহির হইতেও যদি কোন তাপ ঐ সংস্থায় না আসে এবং যদি বস্তুদুইটির মধ্যে কোন রাসায়নিক ক্রিয়া না থাকে তাহা হইলে, 'শক্তির সংরক্ষণ সূত্র' অনুযায়ী উষ্ণতর বস্তুর দ্বারা ত্যক্ত তাপ এবং শীতলতর বস্তুর দ্বারা লব্ধ তাপ পরস্পরের সমান হইবে। সংক্ষেপে বলা যাইবে যে,

ত্যক্ত তাপ = লব্ধ তাপ,

(heat lost = heat gained)

—ইহাই ক্যালরিমিতির মূলনীতি।

দৃষ্টান্তমূলক পরীক্ষা।—এক রকমের দুইটি বীকার লও। একটির মধ্যে 40° সে. উষ্ণতার 50 গ্রাম জল ও অন্যটির মধ্যে বরফ-শীতল (0° সে.) 50 গ্রাম জল রাখ। এক বীকারের জল দ্রুত অন্য বীকারে ঢালিয়া একটি কাঁচের রড দিয়া মিশ্রণটি তাড়াতাড়ি নাড়। একটি থার্মোমিটার ডুবাইয়া মিশ্রিত জলের সাধারণ উষ্ণতা কত হইল মাপ। দেখিবে মিশ্রণের উষ্ণতা 20° সে. হইবে। কেন তাহা হইবে এবার হিসাব করিয়া দেখা যাক্।

মনে কর যে, মিশ্রণের চূড়ান্ত সাধারণ উষ্ণতা $=t°$ সে.। উষ্ণ জল দ্বারা ত্যক্ত তাপ $=50\times1\times(40-t)$ ক্যালরি এবং শীতল জল দ্বারা লব্ধ তাপ $=50\times1\times(t-0)$ ক্যালরি। ক্যালরিমিতির মূলনীতি অনুযায়ী,

ত্যক্ত তাপ, $50\,(40-t)$ = লব্ধ তাপ, $50t$;

$$\therefore\ t=\frac{50\times40}{100}=20°\text{ সে.।}$$

এই হিসাব করিতে গিয়া ধরিয়া লওয়া হইয়াছে যে,

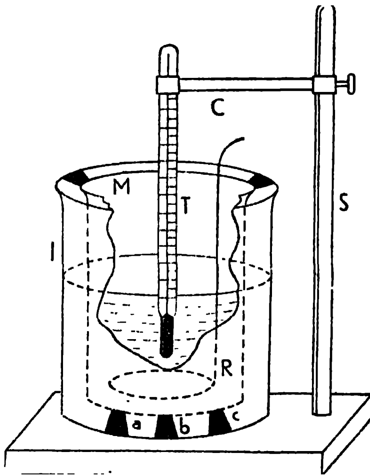
(১) জলের আপেক্ষিক তাপ ধ্রুব এবং উহার মান 1 ;

(২) মিশ্রণসংস্থাটির বহির্ভূত কোন বস্তুর সহিত সংস্থাটির তাপের কোন আদান-প্রদান হয় নাই।

দ্রষ্টব্য: m_1 ও m_2 মানের দুইটি ভর একত্র করিলে সম্মিলিত ভর $=(m_1+m_2)$ হয়। Q_1 ও Q_2 তাপ একত্রিত করিলে সম্মিলিত তাপের পরিমাণ (Q_1+Q_2) হয়। কিন্তু, θ_1 ও θ_2 উষ্ণতাবিশিষ্ট দুইটি বস্তু একত্রিত করিলে বস্তুযৌথের সাধারণ উষ্ণতা এই যোগের নীতিতে (অর্থাৎ $\theta_1+\theta_2$ দ্বারা) নির্ধারিত হয় না, ক্যালরিমিতির মূলনীতি প্রয়োগ করিয়া উহা বাহির করিতে হয়।

ক্যালরিমিটার এবং উহার জলবিকল্প (calorimeter and its water-equivalent) :—

ক্যালরিমিটার.—যে পাত্রের সাহায্যে তাপ-পরিমাপের পরীক্ষাকার্য করা হয়, উহার সাধারণ নাম ক্যালরিমিটার। সাধারণ ক্যালরিমিটার পাত্‌লা তামার পাতের তৈয়ারি একটি পাত্র বিশেষ—দেখিতে একটি বীকারের মত। কয়েক শত ঘন সে.মি. তরল পদার্থ ধারণ করিতে পারার মত করিয়া ইহার আয়তন রাখা হয় (চিত্র ৩৩)। এইরূপ ক্যালরিমিটারের সহিত সর্বদাই ঐ একই ধাতুর নির্মিত একটি আন্দোলক-কাঠি (stirrer, *R*) থাকে। আন্দোলক-টির তলায় একটি গোলাকার বেড় বা রিং থাকে এবং এই বেড়ের সহিত একটি খাড়া (ক্যালরিমিটারের উচ্চতা অপেক্ষা দীর্ঘ) সরু দণ্ড যুক্ত থাকে। রিংটি নিমজ্জিত রাখা হয় তরল পদার্থের মধ্যে। খাড়া দণ্ডটির উপরের প্রান্ত ধরিয়া ইহাকে উঠান-নামান হইলে তরল পদার্থ টি আন্দোলিত হয়। এইরূপ করার উদ্দেশ্য হইল যাহাতে তাড়াতাড়ি সমগ্র তরল পদার্থ উত্তমরূপে মিশ্রিত হইয়া সর্বত্র একই তাপমাত্রা লাভ করে। উত্তম ক্যালরিমিটারের ক্ষেত্রে, ক্যালরিমিটারটিকে অনুরূপ আকারের একটি বৃহত্তর পাত্রের মধ্যে রাখা হয়। শেষোক্ত পাত্রটি একটি জ্যাকেটের (*J*) কাজ করে। ক্যালরিমিটার (*M*) এবং জ্যাকেটের (*J*) মধ্যবর্তী স্থান শুষ্ক তুলা, উল, কাঁচের উল, বা অপর কোন তাপ-অপরিবাহক পদার্থ দ্বারা পূর্ণ করিয়া দেওয়া হয়। চিত্র ৩৩এ *a, b, c,* ইত্যাদি দ্বারা এই অপরিবাহক পদার্থকে বুঝান হইয়াছে। *M*-ক্যালরিমিটারের দেওয়ালের বহিঃপৃষ্ঠ এবং *J*-জ্যাকেটের দেওয়ালের ভিতরের পৃষ্ঠ চকচকে করিয়া পালিশ করা হয়। অপরিবাহক কঠিন পদার্থ দ্বারা বেষ্টিত রাখা হয় বলিয়া ক্যালরিমিটার হইতে পরিবহন (conduction) ও পরিচলন (convection) ক্রিয়ায় তাপ বাহির হইয়া যাইতে পারে না। পালিশ করিয়া রাখার ফলে ক্যালরিমিটারের বহিঃপৃষ্ঠ হইতে তাপের বিকিরণও খুব কম হয়। জ্যাকেটের ভিতরের পৃষ্ঠ পালিশ করা



চিত্র ৩৩

থাকায় ক্যালরিমিটার গাত্র হইতে বহির্গত তাপ আবার ক্যালরিমিটারের দিকে প্রতিফলিত হইয়া ফিরিয়া আসে। কোন স্ট্যাণ্ড (S) এবং উহার ক্ল্যাম্পের (C) সাহায্যে একটি থার্মোমিটার (T) খাড়াভাবে ক্যালরিমিটারের মধ্যস্থ তরল পদার্থে ডুবাইয়া রাখিতে হয়।

ক্যালরিমিটারের জলবিকল্প নির্ণয় করার পরীক্ষা।—প্রথমতঃ ক্যালরিমিটারটিকে পরিষ্কার ও শুষ্ক করিয়া আন্দোলক-কাঠিসহ উহাকে একটি সাধারণ তুলায় ওজন কর। মনে কর, এই ওজন হইল w_1 গ্রাম। তারপর ক্যালরিমিটারের প্রায় এক-তৃতীয়াংশ লেবরেটরির উষ্ণতাবিশিষ্ট জল দ্বারা পূর্ণ কর। একটি থার্মোমিটার ঐ জলের মধ্যে খাড়াভাবে ধরিয়া জলের প্রারম্ভিক তাপমাত্রা (t_1° সে.) নির্ণয় কর। জলসহ ক্যালরিমিটারটি আবার ওজন কর। মনে কর, এখন মোট ওজন হইল w_2 গ্রাম। এবার ক্যালরিমিটারটিকে জ্যাকেটের মধ্যে বসাইয়া দাও তারপর একটি কাঁচের বীকারের মধ্যে কিছু গরম জল লও। এই জলের তাপমাত্রা যেন 50° সে.এর কাছাকাছি হয়। থার্মোমিটারের সাহায্যে এই গরম জলের তাপমাত্রা (t_2° সে.) নির্ণয় করিয়া ঐ গরম জলের কিছুটা তাড়াতাড়ি ক্যালরিমিটারটির মধ্যে ঢালো। এমন পরিমাণ গরম জল ঢালিবে যাহাতে ক্যালরিমিটারের প্রায় দুই-তৃতীয়াংশ পর্যন্ত ভর্তি হয়। মিশ্রণটির তাপমাত্রা স্থির না হওয়া পর্যন্ত আন্দোলক-কাঠিটির সাহায্যে জল নাড়িতে থাক। মিশ্রণের চূড়ান্ত স্থির সর্বোচ্চ তাপমাত্রা (t° সে.) থার্মোমিটারটির সাহায্যে নির্ণয় কর। জল ঠাণ্ডা না হওয়া পর্যন্ত অপেক্ষা কর। তাহার পর ক্যালোরিমিটারটিকে সমস্ত জলসহ আবার ওজন কর। মনে কর, এখন মোট ওজন হইল w_3 গ্রাম।

সুতরাং আমরা নিম্নলিখিত উপাত্ত পাইলাম—

ক্যালরিমিটার ও আন্দোলক-কাঠির ওজন $= w_1$ গ্রাম ;

ঠাণ্ডা জলের ওজন $= (w_2 - w_1)$ গ্রাম ;

গরম জলের ওজন $= (w_3 - w_2)$ গ্রাম ;

ঠাণ্ডা জলের প্রারম্ভিক তাপমাত্রা $= t_1^\circ$ সে. ;

গরম জলের তাপমাত্রা $= t_2^\circ$ সে. ;

মিশ্রণের চূড়ান্ত সাধারণ তাপমাত্রা $= t^\circ$ সে. ;

মনে কর যে, ক্যালরিমিটারের জলবিকল্প $= W$ গ্রাম ;

গরম জল t_2° সে. হইতে সাধারণ উষ্ণতা t° সে.তে নামিবার কালে তাপ হারাইয়াছে $(w_3 - w_2) \times 1 \times (t_2 - t)$ ক্যালরি।

ঠাণ্ডা জল t_1° সে. হইতে চূড়ান্ত সাধারণ তাপমাত্রা t° সে.তে উঠিতে তাপ লাভ করিয়াছে $(w_2-w_1)\times1\times(t-t_1)$ ক্যালরি এবং ঐ তাপমাত্রাবৃদ্ধির জন্য ক্যালরিমিটার (আন্দোলক-কাঠিসহ) তাপ লাভ করিয়াছে $W\times1\times(t-t_1)$ ক্যালরি।

জল ও ক্যালরিমিটারের মিলিত সংস্থার সহিত বাহিরের কোন তাপ বিনিময় না হইয়া থাকিলে, ত্যক্ত তাপ = লব্ধ তাপ, নিয়ম-অনুযায়ী,

$$[W+(w_2-w_1)](t-t_1)=(w_3-w_2)(t_2-t)\text{।}$$

∴ ক্যালরিমিটারের জলবিকল্প, W

$$=\left[\left\{\frac{(w_3-w_2)(t_2-t)}{(t-t_1)}\right\}-(w_2-w_1)\right] \text{ গ্রাম}$$

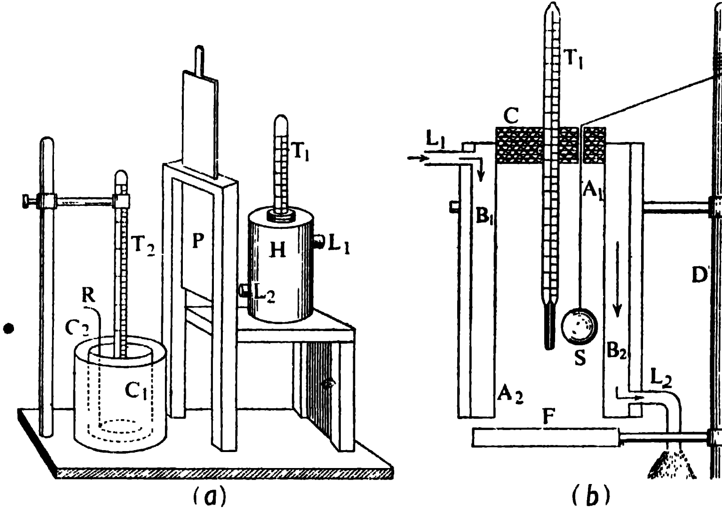
সম্ভাব্য ভুল ও সতর্কতা : (ক) গরম জল ঢালিবার সময় এবং জল নাড়িবার সময় বিকিরণের ফলে কিছু তাপ নষ্ট হইবে। এইজন্য মিশ্রণের চূড়ান্ত তাপমাত্রা যাহা হওয়া উচিত ছিল তাহা অপেক্ষা কম হইবে।

ঠাণ্ডা জলের প্রারম্ভিক তাপমাত্রা বরফ মিশাইয়া লেবরেটরির তাপমাত্রার নীচে নামাইয়া রাখা যায়। চূড়ান্ত তাপমাত্রা ঘরের তাপমাত্রার যত ডিগ্রী উপরে উঠিবে, ঠাণ্ডা জলের প্রারম্ভিক তাপমাত্রা ঘরের তাপমাত্রা হইতে তত ডিগ্রী নীচে রাখিলে পরীক্ষার প্রথমার্ধে পরীক্ষাধীন সংস্থাটি বাহির হইতে যতখানি তাপ (বহিরাগত বিকীর্ণ তাপ হইতে) লাভ করিবে, দ্বিতীয়ার্ধে সংস্থা হইতে ঠিক ততখানি তাপই (বিকিরণের ফলে) বাহিরে চলিয়া যাইবে। অতএব তাপবিকিরণের জন্য পরীক্ষালব্ধ ফলে কোন দোষ থাকিবে না। ইহাকে **রাম্‌ফোর্ডের ক্ষতিপুরণ ব্যবস্থা** (Rumford's method of compensation) আখ্যা দেওয়া হয়।

(খ) মিশ্রণের তাপমাত্রা অধিক হইলে জল হইতে বাষ্পায়ন বেশি হইবে এবং পরীক্ষার ফলে বেশি ভুল থাকিবে। এইজন্য অত্যধিক গরম জল ব্যবহার না করিয়া মোটামুটি উষ্ণ জল ব্যবহার করাই বিধেয়।

৫৬। স্টীম হীটার (Steam Heater) :—তাপ-পরিমাপের পরীক্ষায় কোন ক্যালোরিমিটারের ঠাণ্ডা তরল পদার্থের সহিত একটি উত্তপ্ত কঠিন বস্তু মিশাইয়া চূড়ান্ত সাধারণ উষ্ণতা মাপা হয়। কোন কঠিন পদার্থকে এইরূপ কাজের জন্য উত্তপ্ত করিয়া লইতে লেবরেটরিতে স্টীম হীটার (স্টীম ব্যবহৃত তাপকযন্ত্র) সচরাচর ব্যবহৃত হয়।

রেঁনোর আপেক্ষিক তাপনির্ণয়ের যন্ত্র—যন্ত্রটির সমাবেশব্যবস্থা চিত্র ৩৪, (a)তে দেখান হইয়াছে। ইহাতে ব্যবহৃত স্টীম হীটারটির একটি খাড়া ছেদের নমুনা চিত্রের (b) অংশে দেখান হইয়াছে। চিত্রের (a) অংশে চোঙাকৃতির যে যন্ত্রটি

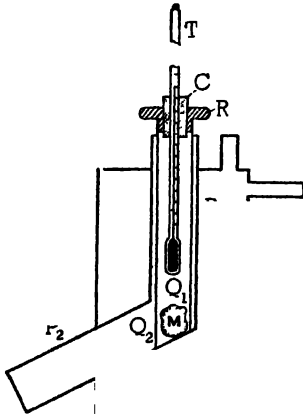


চিত্র ৩৪

তাকের উপর বসান আছে দেখিতেছ উহাই হইল স্টীম হীটার (H)। ইহা দুইকক্ষবিশিষ্ট। ইহার ভিতরের কক্ষ (A_1A_2) ফাঁকা (চিত্র ৩৪, b) এবং ঐ ফাঁকা বরাবর নিম্নস্থ তাকের মধ্য দিয়া গর্ত কাটা আছে। এই গর্তের নীচে দুইপাত্রবিশিষ্ট (C_1, C_2) একটি উত্তম ক্যালরিমিটার বসান হয়। ইহাকে প্রয়োজনমত আবার বাম পাশে সরাইয়াও রাখা যায়। P হইল একটি কাঠের প্রাচীর। ইহা নামাইয়া দিলে ক্যালরিমিটারটিকে স্টীম হীটারের তাপ হইতে আড়াল করিয়া রাখা যায় এবং প্রয়োজনের সময় ঐ প্রাচীর ঊর্ধ্বে তুলিয়া উহাকে ঠেলিয়া স্টীম হীটারের নীচে লইয়া যাওয়া যায়। বয়লার হইতে স্টীম তাপকযন্ত্রের L_1 মুখ দিয়া বহির্কক্ষের মধ্যে অর্থাৎ জ্যাকেটের (B_1B_2) মধ্যে ঢোকে ও L_2 মুখ দিয়া বাহির হইয়া যায়। ফলে, তাপকযন্ত্রের মধ্যস্থ ফাঁকা স্থান শেষ পর্যন্ত স্টীমের উষ্ণতা প্রাপ্ত হয়, যদিও স্টীম ইহাতে প্রবেশ করে না। কঠিন পদার্থটির একটি টুকরা সুতায় বাঁধিয়া তাপকযন্ত্রের মধ্যস্থ ফাঁকায় ঝুলাইয়া

রাখা হয়। ফাঁকার উপরের মুখটি ছিপি (C) দিয়া বন্ধ করিয়া রাখা হয়। ছিপির মধ্যে ছিদ্র করিয়া উহার মধ্য দিয়া একটি থার্মোমিটার (T_1) এবং কঠিন পদার্থটি বাঁধিবার সুতাটি ভিতরে ঢোকান হয়। তাপকযন্ত্রের মধ্যস্থ ফাঁকা স্থানের তলার মুখে একটি ঢাক্‌না (F) দ্বারা বন্ধ করিয়া রাখা হয় (চিত্র ৩৪, aতে ইহা দেখান হয় নাই, bতে আলাদা করিয়া দেখান হইয়াছে)। কঠিন পদার্থটি স্থির সর্বোচ্চ উষ্ণতা (বায়ুমণ্ডলের স্থানীয় চাপে স্টীমের উষ্ণতা) প্রাপ্ত হইলে প্রাচীর Pকে ঠেলিয়া উপরে তুলিয়া ক্যালরিমিটারটিকে তাপকযন্ত্রের নীচে আনা হয়; ইহার পর, ঢাক্‌না F সরাইয়া দিয়া কঠিন পদার্থের সহিত যুক্ত সুতাটি কাটিয়া দিলে কঠিন পদার্থটি ক্যালরিমিটারের মধ্যস্থ তরল পদার্থের মধ্যে পড়ে। সঙ্গে সঙ্গে ক্যালরিমিটারটি বামে সরাইয়া আনিয়া এবং কাঠের প্রাচীর P নীচে নামাইয়া দিয়া আন্দোলক-কাঠি R-দ্বারা মিশ্রণটি ক্রমাগত নাড়ানো হয় এবং থার্মোমিটার T_2র সাহায্যে মিশ্রণের চূড়ান্ত সাধারণ উষ্ণতা নির্ণয় করা হয়।

ভিন্ন প্রকারের একটি স্টীম হিটার।—চিত্র ৩৫এ একটি ভিন্ন ধরণের স্টীম হীটার দেখান হইয়াছে। ইহার মধ্যে বয়লারের ব্যবস্থাও আছে। P_1P_2 নলটি এখানে তাপকের কাজ করে। P_1 অংশটি খাড়া, P_2 অংশটি স্থূলকোণে বাঁকানো। নলের P_1 অংশ বয়লার Bর শীর্ষের উপরেও কিছুটা মাথা উঁচাইয়া আছে। কঠিন পদার্থটি (M) তাপকনলের P_1 ও P_2 অংশের সংযোগস্থলে আছে। P_1 নলের মধ্যে আর-একটি নল (Q_1Q_2) বসান আছে। ইহাকে চট করিয়া উঠাইয়া লওয়া চলে। ইহার নিম্নপ্রান্ত P_2র মধ্যে স্থাপিত। ইহার মধ্যেই কঠিন পদার্থটিকে রাখা হয়। Q_1Q_2 নলটি উপর দিকে উঠাইয়া লইলে কঠিন পদার্থটি P_2 নলের মধ্য দিয়া গড়াইয়া ইহার নিম্ন প্রান্তে রক্ষিত একটি ক্যালরিমিটারের মধ্যে পড়ে। Q_1Q_2 নলের উপরের মুখে একটি কলার (R) আছে। কলারের মুখটি ছিপি (C) দিয়া আটকানো। এই ছিপির মধ্য দিয়া একটি



চিত্র ৩৫

থার্মোমিটার (T) ভিতরে প্রবেশ করান থাকে। এক্ষেত্রেও কঠিন পদার্থটিকে স্টীমের সংস্পর্শে না আনিয়া স্টীমের তাপমাত্রা পর্যন্ত উত্তপ্ত করা যায়।

৫৭। মিশ্রণপদ্ধতিতে কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক তাপ নির্ণয় করা :—

পরীক্ষা.—পরীক্ষণীয় বস্তুটি হইতে একটি টুক্‌রা লও এবং উহা তুলায় ওজন কর। ইহার পর ক্যালরিমিটারটি (আন্দোলক-কাঠিসহ) ওজন কর। জলের মধ্যে টুক্‌রাটি যাহাতে ডোবে ঐ পরিমাণ জল ক্যালরিমিটারের মধ্যে লও (প্রায় $\frac{1}{3}$ আয়তনের সমান)। এবার জলসহ ক্যালরিমিটারটির (আন্দোলক-কাঠিসহ) ওজন লও। একটি সাধারণ থার্মোমিটার দ্বারা জলের প্রারম্ভিক উষ্ণতা কত দেখ। গৃহীত টুক্‌রাটি স্টীম হীটারের মধ্যে গরম কর। উষ্ণতা স্থির হইলে (স্টীম হীটারের মধ্যে প্রবিষ্ট থার্মোমিটারের পাঠ দেখিয়া ইহা বুঝা যাইবে) ঐ স্থির উষ্ণতার পাঠটি লও। তারপর ঝুলনসূত্র কাটিয়া দিয়া টুক্‌রাটি ক্যালরিমিটারের জলের মধ্যে ফেল এবং জল নাড়িতে থাক। মিশ্রণের চূড়ান্ত সর্বোচ্চ সাধারণ উষ্ণতা যাহা দাঁড়াইল তাহা থার্মোমিটার দ্বারা নির্ণয় কর।

আংকিক হিসাব.—

মনে কর, পরীক্ষণীয় টুক্‌রাটির ভর $= m$ গ্রাম ;

" " আপেক্ষিক তাপ $= s$;

" " স্থির উষ্ণতা (মিশ্রণের পূর্বে) $= t_1°$ সে.

ক্যালরিমিটার ও আন্দোলক-কাঠির ভর $= m_1$ গ্রাম ;

ক্যালরিমিটার, আন্দোলক-কাঠি ও জলের ভর $= m_2$ গ্রাম ;

ক্যালরিমিটার ও আন্দোলক-কাঠির পদার্থের আপেক্ষিক তাপ $= s_1$;

ক্যালরিমিটারের জলের প্রারম্ভিক স্থির উষ্ণতা $= t_2°$ সে. ;

মিশ্রণের চূড়ান্ত সর্বোচ্চ সাধারণ উষ্ণতা $= t_3°$ সে.।

যদি ধরিয়া লওয়া হয় যে, পরীক্ষণীয় বস্তুর টুক্‌রাটি নিম্ন তাপমাত্রার জলের সহিত মিশ্রিত হওয়ার ফলে যতটা তাপ হারাইয়াছে উহার সবটাই ক্যালরিমিটার, আন্দোলক-কাঠি এবং জল লাভ করিয়াছে, তাহা হইলে, ত্যক্ত তাপ $= m \times s \times (t_1 - t_3) =$ লব্ধ তাপ $= [m_1 \times s_1 \times (t_3 - t_2) + (m_2 - m_1) \times 1 \times (t_3 - t_2)]$;

বা, $$s = \frac{\{m_1 s_1 + (m_2 - m_1)\}(t_3 - t_2)}{m(t_1 - t_3)}$$ ।

মন্তব্য : গৃহীত টুক্‌রাটির তাপধারণ-ক্ষমতা (বা তাপগ্রাহীতা), $ms = \frac{\{m_1 s_1 + (m_2 - m_1)\}(t_3 - t_2)}{(t_1 - t_3)}$ ক্যালরি। পুরা বস্তুটির তাপধারণ-ক্ষমতা নির্ণয় করিতে হইলে উহা হইতে এক টুক্‌রা লইবার পূর্বে তুলায় উহা ওজন করিয়া লইতে হইবে। তারপর উহা হইতে একটি উপযুক্ত টুক্‌রা লইয়া উহার আপেক্ষিক তাপের পরীক্ষা করিতে হইবে। তারপর নির্ণীত আপেক্ষিক তাপ (s) দ্বারা পুরা বস্তুটির ওজনকে গুণ করিলে ঐ গুণফল হইবে বস্তুটির তাপধারণ-ক্ষমতা।

এই পরীক্ষায় সম্ভাব্য ভুলের কারণ এবং ঐ ভুল সংশোধনের উপায়.—

(ক) পরীক্ষণীয় টুক্‌রাটি স্টীম হীটারের অভ্যন্তর হইতে ক্যালরিমিটারের মধ্যে ফেলিবার সময় কিছু তাপ বিকিরণের ফলে নষ্ট হইবে। ক্যালরিমিটারটি স্টীম হীটারের নীচে লইয়া আসিয়া বস্তুখণ্ডটি দ্রুত ক্যালরিমিটারের মধ্যে ফেলিতে পারিলে এই ভুল অনেক কমিয়া যায়।

(খ) জলের মধ্যে টুক্‌রাটি ফেলিলে কিছু জল ছিট্‌কাইয়া ক্যালরিমিটারের বাহিরে পড়িতে পারে। এইজন্য পরীক্ষণীয় টুকরাটি বেশি উঁচু হইতে ফেলিতে নাই। কিছু জল বাষ্পায়ন দ্বারা কমিয়া যাইবে। ইহা একেবারে বন্ধ করিবার উপায় নাই। তপ্ত টুক্‌রাটির উষ্ণতা অত্যধিক না হইলে এই ভুলের পরিমাণ বেশি হইবে না।

(গ) পরিবহন (conduction), পরিচলন (convection) ও বিকিরণের (radiation) ফলে কিছু তাপ নষ্ট হইবে (মিশ্রণের উষ্ণতা বাহিরের বায়ুমণ্ডলের উষ্ণতা হইতে অধিক বলিয়া)। 'বিকিরণ-সংশোধন'-এর পদ্ধতি এই গ্রন্থে আলোচিত হইবে না। অনুচ্ছেদ ৫৯-তে বর্ণিত 'রামফোর্ডের ক্ষতিপূরণ-ব্যবস্থা'র সাহায্যে তাপের বিকিরণজনিত ভুল মোটামুটি দূর করা যায়। দুইপাত্রবিশিষ্ট ক্যালরিমিটার ব্যবহার করিলে তাপের পরিবহনজনিত ভুল অধিক হইবে না। জ্যাকেটের গাত্রের ভিতরের দিক ও ক্যালরিমিটারের গাত্রের বাহির দিক পালিশ করিয়া উজ্জ্বল করা থাকিলে তাপের বিকিরণজনিত ভুল অনেক কমিবে।

(ঘ) আপেক্ষিক তাপ সঠিকভাবে নির্ণয় করিতে হইলে থার্মোমিটারগুলি খুবই সূক্ষ্মমাপক্ষম হওয়া দরকার। থার্মোমিটারের নির্দিষ্ট তাপাঙ্কচিহ্নদ্বয়ে কি ভুল আছে পরীক্ষা করিয়া পূর্বেই জানিয়া লওয়া দরকার (অনুচ্ছেদ ১৫ দ্রষ্টব্য)। মিশ্রণের ফলে উষ্ণতাবৃদ্ধির পরিমাণ সবিশেষ যত্ন করিয়া মাপিতে হইবে। এই উষ্ণতাবৃদ্ধি-নির্ণয়ে সামান্য ভুল হইলেও আপেক্ষিক তাপের মানে অনেক ভুল থাকিয়া যাইবে।

(ঙ) পরীক্ষাধীন বস্তুটি তাপের মন্দ পরিবাহক হইলে ইহার সর্বাঙ্গ সমানভাবে তপ্ত হইতে দীর্ঘ সময় লাগিবে। এইজন্য ঐরূপ ক্ষেত্রে বস্তুটিকে টুকরা টুকরা করিয়া লইতে হয়।

৫৮। মিশ্রণপদ্ধতিতে তরল পদার্থের আপেক্ষিক তাপ নির্ণয় করা :— এই পদ্ধতি কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক তাপনির্ণয়ের পদ্ধতির অনুরূপ (অনুচ্ছেদ ৫৭ দেখ)। এক্ষেত্রে ক্যালরিমিটারে জলের পরিবর্তে পরীক্ষণীয় তরল পদার্থ লইতে হইবে এবং এমন একটি সহায়ক কঠিন পদার্থ নির্বাচন করিয়া লইতে হইবে যাহার আপেক্ষিক তাপ জানা আছে।

মনে কর যে, পরীক্ষাধীন তরল পদার্থের আপেক্ষিক তাপ $= s_2$। কঠিন পদার্থ দ্বারা ত্যক্ত তাপ $= m \times s \times (t_1 - t_3)$ ক্যালরি। ... ... (১)

ক্যালরিমিটার ও পরীক্ষাধীন তরল পদার্থ দ্বারা লব্ধ তাপ

$= \{m_1 s_1(t_3 - t_2) + (m_2 - m_1) s_2 (t_3 - t_2)\}$।

অতএব, লব্ধ তাপ = ত্যক্ত তাপ, এই নীতি অনুযায়ী,

$\{m_1 s_1(t_3 - t_2) + (m_2 - m_1) s_2(t_3 - t_2)\} = m \times s \times (t_1 - t_3)$;

বা, $s_2 = \left[\left\{ ms\dfrac{(t_1 - t_3)}{t_3 - t_2} \right\} - m_1 s_1 \right] \Big/ (m_2 - m_1)$।

দ্রষ্টব্য : সহায়ক কঠিন পদার্থটি এমন হওয়া চাই যে, পরীক্ষাধীন তরল পদার্থের সহিত ইহার যেন কোন রাসায়নিক ক্রিয়া না ঘটে এবং তরল পদার্থটিতে ইহা যেন দ্রবীভূত না হয়।

৫৯। ক্যালরিমিতির নীতিতে উচ্চ মানের তাপমাত্রা নির্ণয় করা :— অগ্নিশিখার বা কোন চুল্লীর তাপমাত্রার মত উচ্চ মানের তাপমাত্রা অনুচ্ছেদ ৫৭ ও ৫৮তে বর্ণিত মিশ্রণপদ্ধতির সাহায্যে মোটামুটিভাবে নির্ণয় করা সম্ভব। এমন একটি সহায়ক কঠিন বস্তু নির্বাচন করিয়া লইতে হইবে যাহা নির্ণেয় উষ্ণতায় গলিয়া যাইবে না এবং যাহার আপেক্ষিক তাপ জানা আছে। ব্যবহৃত তরল পদার্থটির সহিত নির্বাচিত কঠিন পদার্থটির কোন রাসায়নিক ক্রিয়া চলিবে না এবং তরল পদার্থটিরও আপেক্ষিক তাপ জানা থাকা দরকার হইবে। এক্ষেত্রে ব্যবহৃত তরল পদার্থ বেশি লওয়া দরকার। কঠিন বস্তুটিকে পরীক্ষণীয় উষ্মকগাহের উষ্ণতা পর্যন্ত উত্তপ্ত করিয়া চট করিয়া ক্যালরিমিটারের মধ্যস্থ তরল পদার্থে ফেলিয়া দিতে হইবে। তারপর ক্যালরিমিতির সাধারণ নীতি

প্রয়োগ করিয়া অনুচ্ছেদ ৫৭ ও ৫৮তে বর্ণিত পদ্ধতির সাহায্যে বস্তুটির প্রারম্ভিক উষ্ণতা $t_1°$ নির্ণয় করা যাইবে। এই উষ্ণতা নির্ণেয় উষ্ণতার সহিত মোটামুটিভাবে সমান হইবে।

৬০। জলের আপেক্ষিক তাপ অধিক হওয়ার ফলাফল :—

(ক) জলের আপেক্ষিক তাপ 1; অর্থাৎ, 1 গ্রাম জলের 1° সে. উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য 1 ক্যালরি তাপের প্রয়োজন। আমাদের পরিচিত প্রায় সব কঠিন ও তরল পদার্থের আপেক্ষিক তাপই 1 হইতে কম। এইজন্য উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য ইহার বেলা যতটা তাপ লাগে অন্য কোন পদার্থের বেলা (একই ভর ও একই উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য) তত তাপ লাগে না। ইহা ছাড়া জলের আপেক্ষিক তাপ বিভিন্ন উষ্ণতায় বিভিন্ন হয়। এই কারণেই জলকে থার্মোমিটারের পদার্থ হিসাবে ব্যবহার করা যায় না।

পারদের আপেক্ষিক তাপ জলের তুলনায় অনেক কম। তাই কোন জলগাহের (water-bath) উষ্ণতা পারদ-থার্মোমিটারের সাহায্যে মাপা হইলে পারদ ঐ গাহ হইতে যে তাপ শোষণ করে তাহা খুবই নগণ্য হয়।

(খ) জলের আপেক্ষিক তাপ অধিক হওয়ায় অনেক সুবিধাও আছে। আপেক্ষিক তাপ বেশি না হইলে গরম জলের ব্যাগে বা শীতের দেশে গরম জলের পাইপে জল ব্যবহার করা হইত না।

(গ) ভূত্বকের বা মাটির আপেক্ষিক তাপ জলের আপেক্ষিক তাপ অপেক্ষা অনেক কম। এইজন্য দিনের বেলা ভূত্বকের বা মাটির তাপমাত্রা জল অপেক্ষা অনেক তাড়াতাড়ি বৃদ্ধি পাইয়া থাকে। রাত্রে আবার ভূত্বক বা মাটি জল অপেক্ষা অনেক দ্রুত ঠাণ্ডা হইয়া যায়। প্রাকৃতিক অনেক ব্যাপারে এই সাধারণ বিষয়টির গুরুত্ব অপরিসীম। সমুদ্রবেষ্টিত কোন দ্বীপের কথা বিবেচনা করা যাক্। জল না থাকিলে মাটির যে উষ্ণতা হইত এবং মাটি না থাকিলে জলের যে উষ্ণতা হইত, দ্বীপের উষ্ণতা হয় ইহাদের মাঝামাঝি রকমের। গ্রীষ্মকালে সূর্য দিগন্তের উপরে অধিক সময় থাকে বলিয়া দ্বীপের উষ্ণতা স্থলময় মহাদেশের উষ্ণতা অপেক্ষা কম হয়। আবার শীতকালে সূর্য দিগন্তের উপরে কম সময় থাকে বলিয়া দ্বীপের উষ্ণতা স্থলময় মহাদেশের উষ্ণতা অপেক্ষা অধিক থাকে, অর্থাৎ দ্বীপের আবহাওয়া একই অক্ষাংশস্থিত স্থলময় মহাদেশের আবহাওয়ার তুলনায় অনেক বেশি সমতাপূর্ণ (equable) হয়। এই জন্য সমুদ্রকে কখন কখন আবহাওয়ার উষ্ণতা-নিয়ামক (moderator) বলিয়া বর্ণনা করা হয়।

৬১। **গ্যাসের আপেক্ষিক তাপ :—**গ্যাসের ক্ষেত্রে উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য চাপ ও আয়তন উভয়ই যথেষ্ট পরিমাণে বাড়িয়া যাইতে পারে। উষ্ণতাবৃদ্ধির সময় অবশ্য এমন ব্যবস্থা করা যাইতে পারে যে, গ্যাসের চাপ অপরিবর্তিত থাকিবে বা উহার আয়তন অপরিবর্তিত থাকিবে। চাপ অপরিবর্তিত রাখিয়া 1 গ্রাম গ্যাসের উষ্ণতা 1° সে. বৃদ্ধির জন্য যে তাপ প্রয়োজন উহাকে অপরিবর্তিত চাপের আপেক্ষিক তাপ (সংক্ষেপতঃ C_p) বলা হয়। আবার, আয়তন অপরিবর্তিত রাখিয়া 1 গ্রাম গ্যাসের উষ্ণতা 1° সে. বৃদ্ধির জন্য যে তাপ প্রয়োজন উহাকে অপরিবর্তিত আয়তনের আপেক্ষিক তাপ (বা C_v) বলা হয়। কখনও কখনও C_p ও C_vর সংজ্ঞায় 1 গ্রাম ভরের পরিবর্তে 1 গ্রাম-অণু ভর নেওয়া হয়। সেক্ষেত্রে C_pকে অপরিবর্তিত চাপে গ্রাম-অণুর আপেক্ষিক তাপ এবং C_vকে অপরিবর্তিত আয়তনে গ্রাম-অণুর আপেক্ষিক তাপ বলা হয়। C_p সর্বদাই C_v অপেক্ষা বড় হয়। Rকে গ্যাসীয় পদার্থের সার্বধ্রুবক এবং Jকে তাপের যান্ত্রিক শক্তিবিকল্প (mechanical equivalent of heat) ধরা হইলে, প্রমাণ করা যায় যে,

$$C_p - C_v = R/J \text{।}$$

কঠিন ও তরল পদার্থের ক্ষেত্রে C_p ও C_vর মধ্যে পার্থক্য খুব কম বলিয়া অধিকাংশ ক্ষেত্রেই ইহাদের মধ্যে কোন তারতম্য করা যায় না।

Examples

1. A calorimeter contains 30 gms. of water at 28° C. A mass of water at 57° C. is poured into the calorimeter and after stirring, the resulting temperature is found to be 43° C. The mass of water added is 44 gms. Find the water-equivalent of the calorimeter.

উত্তর : মনে কর যে, নির্ণেয় জলবিকল্প = W গ্রাম।

উষ্ণতর জলকর্তৃক ত্যক্ত তাপ $= 44 \times 1 \times (57-43)$ ক্যালরি।

ক্যালরিমিটার ও ঠাণ্ডা জলকর্তৃক লব্ধ তাপ

$= W \times 1 \times (43-28) + 30 \times 1 \times (43-28) = (W+30)\ (43-28)$।

লব্ধ তাপ = ত্যক্ত তাপ হইলে, $(W+30)\ (43-28) = 44\ (57-43)$; বা, $W = 11\text{·}07$ গ্রাম।

2. In an experiment for finding the sp. heat of a solid by the method of mixtures the following data were obtained : Mass of the solid = 95·4 gms. ; temperature of solid = 100° C. ; mass of calorimeter and stirrer = 40 gms. ; mass of calorimeter and stirrer plus water = 240 gms. ; initial temperature of water = 14° C. ;

temperature of mixture after stirring = 18° C. Find the specific heat of the solid (given sp. heat of calorimeter or stirrer material = 0·1).

উত্তর : মনে কর যে, বস্তুটির পদার্থের আপেক্ষিক তাপ = s।

বস্তুটির দ্বারা ত্যক্ত তাপ = $95·4 \times s \times (100-18) = 95·4 \times s \times 82$ ক্যালরি।

14° সে. হইতে 18° সে. পর্যন্ত উষ্ণতাবৃদ্ধিতে ক্যালরিমটার, আন্দোলক-কাঠি এবং জলকর্তৃক লব্ধ তাপ

$= 40 \times 0·1 \times (18-14) + ($ জলের ভর $\times$ জলের আপেক্ষিক তাপ $\times$ উষ্ণতাবৃদ্ধি $) = 40 \times 0·1 \times (1-14) + (240-40) \times 1 \times (18-14) = (40 \times 0·1 + 200) \times 4 = 204 \times 4 = 816$ ক্যালরি।

লব্ধ তাপ = ত্যক্ত তাপ ধরিলে, $816 = 95·4 \times s \times 82$; বা, $s = \frac{816}{95·4 \times 82} = 0·1$।

3. An alloy consists of 92% silver and 8% copper. Calculate the final temperature when 50 gms. of alloy at 100° C. are mixed with 50 gms. of oil of sp. heat 0·46 at 20° C. (given, sp. heat of silver = 0·056 ; sp. heat of copper = 0·095)

উত্তর : সংকর ধাতুটিতে রূপার পরিমাণ = $\frac{92}{100} \times 50 = 46$ গ্রাম ; সংকর ধাতুটিতে তামার পরিমাণ = $\frac{8}{100} \times 50 = 4$ গ্রাম। মনে কর যে, নির্ণেয় উষ্ণতা = t_2° সে.। তাহা হইলে, ধাতুখণ্ডটি ঠাণ্ডা হইয়া 100° সে. হইতে t_2° সে.তে নামার ফলে যে তাপ ত্যাগ করিবে তাহার পরিমাণ = $(46 \times 0·056 + 4 \times 0·095)(100 - t_2)$ ক্যালরি।

20° সে. হইতে t° সে.তে উঠিতে তেল যে তাপ লাভ করিবে, তাহার পরিমাণ = $50 \times 0·46 \times (t_2 - 20)$ ক্যালরি।

অতএব, লব্ধ তাপ = ত্যক্ত তাপ ধরিলে, $50 \times 0·46 \times (t_2 - 20) = (46 \times 0·056 + 4 \times 0·095) \times (100 - t_2)$; বা, $t_2 = 29·1$° সে.।

4. A platinum ball whose mass is 200gms. is removed from a furnace and immersed in 153 gms. of water at 0° C. Supposing the water to gain all the heat the platinum loses and if the temperature of the water rises to 30° C., determine the temperature of the furnace (sp. heat of platinum = 0·031)

উত্তর : মনে কর যে, চুল্লীর উষ্ণতা = t° সে.। t° সে. হইতে 30° সে.তে নামিবার ফলে প্ল্যাটিনাম কর্তৃক ত্যক্ত তাপ = $200 \times 0·031 \times (t - 30)$ ক্যালরি। 0° সে. হইতে 30° সে.তে উঠিতে

জলকর্তৃক লব্ধ তাপ $=153\times1\times(30-0)$। বলা হইয়াছে যে, লব্ধ তাপ=ত্যক্ত তাপ ধরিতে হইবে। ∴ $200\times0{\cdot}031\times(t-30)=153\times30$; অর্থাৎ $t=770{\cdot}3°$ সে.।

Exercises

1. What do you mean by the statement that the sp. heat of brass is 0·09 ? A piece of copper is heated to 100°*C*. and then immersed in an equal mass of water at 10°*C*. The final temperature is 18°*C*. What do you infer from this ?

2. Define the calorie and the B. Th. U. How many calories are there in one B. Th. U. ? 1 lb.=453·6 gms.

3. Distinguish between (*a*) thermal capacity and specific heat, (*b*) thermal capacity and water-equivalent.

4. What is the fundamental principle of calorimetry ? What precautions do you take to satisfy the condition that the calorimeter interchanges no heat with its external surroundings ?

5. 100 gms. of water at 80°*C*. are added to 90 gms. of water at 20°*C*, kept in a calorimeter. The final temperature is 50°*C*. Calculate the water-equivalent of the calorimeter. উত্তর : 10 গ্রাম।

6. Describe the method of mixtures as is used in finding the sp. heat of a piece of solid. Explain the likely errors and their effect on the result.

7. A piece of lead at 99°*C*. is placed in a calorimeter containing 200 gms. of water at 15°*C*. The maximum temperature of the mixture is found to be 21°*C*. The calorimeter weighs 40 gms. and is made of material of sp. heat 0·01. Calculate the thermal capacity of the piece of lead. উত্তর : 15·4 ক্যালরি।

8. Equal volumes of mercury and glass have the same capacity for heat. If the sp. gr. of glass is 2·5, calculate its sp. heat, if the sp. heat of mercury is 0·0333, and sp. gravity. 13·6 উত্তর : 0·18।

9. 200 gms. of water at 98°*C*. are mixed with 200 c.c. of milk of density 1·03 at 30°*C*. contained in a brass vessel of thermal capacity equal to that of 8 gms. of water, and the resulting maximum temperature of the mixture is 64°*C*. Find the sp. heat of milk. উত্তর : 0·98 (প্রায়)।

10. The sp. gr. of a certain liquid is 0·8, that of another liquid is 0·5. It is found that the heat capacity of 3 litres of the first is the same as that of 2 litres of the second. Compare their sp. heats. উত্তর : 5 : 12।

11. Discuss some of the consequences of high sp. heat of water. Why is a sea often called a moderator of climate ?

12. The climate of an island is much more equable than that of continental countries in the same latitude. Explain this.

ষষ্ঠ পরিচ্ছেদ

নিম্ন অবস্থা-পরিবর্তন : গলন ও জমন (বা কঠিনীভবন) : গলনের গুপ্ত বা লীন তাপ

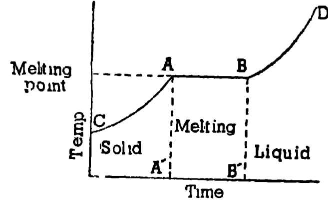
(The Lower Change of State : Melting and Freezing : Latent Heat of Fusion)

৬২। **নিম্ন অবস্থা-পরিবর্তন :**—পদার্থ কঠিন, তরল ও গ্যাসীয় এই তিন অবস্থায় থাকিতে পারে তাহা সাধারণ পদার্থবিজ্ঞানের অনুচ্ছেদ ১০ ও ১১তে বলা হইয়াছে। আরও বলা হইয়াছে যে, তাপ প্রয়োগ বা তাপ হরণ করিয়া পদার্থের অবস্থার পরিবর্তন করা যায়, যেমন—তাপপ্রয়োগে বরফকে জল বা জলকে বাষ্পে পরিণত করা যায় এবং তাপ হরণ করিয়া জলীয় বাষ্পকে জলে বা জলকে বরফে পরিণত করা যায়।

তাপপ্রয়োগের ফলে কঠিন পদার্থের তরলে পরিণত হইবার প্রক্রিয়াকে গলন (melting or fusion) বলা হয়। আবার, তাপ হারাইবার ফলে তরল পদার্থের কঠিন পদার্থে পরিণত হওয়ার প্রক্রিয়াকে জমাট বাঁধা, বা কঠিনীভবন, বা জমন (freezing or solidification) বলা হয়। সাধারণভাবে, গলন বা জমনকে 'নিম্ন অবস্থা-পরিবর্তন' বলা যায়।

৬৩। **কোন পদার্থের গলনাঙ্ক বা কঠিনাঙ্ক (জমনাঙ্ক বা জমাট বাঁধার তাপাঙ্ক) (Melting Point or Freezing Point of a substance) :**—কোন কঠিন পদার্থে তাপপ্রয়োগ করিতে থাকিলে উহার উষ্ণতা ক্রমেই বাড়িতে থাকিবে। চাপ নির্দিষ্ট থাকিলে কঠিন পদার্থকর্তৃক একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতা লাভ করা পর্যন্ত ঐরূপ ঘটিবে। কঠিন পদার্থটি এই নির্দিষ্ট উষ্ণতায় পৌছিলে তাপপ্রয়োগের ফলে উষ্ণতার আর-কোন পরিবর্তন না ঘটিয়া এখন ইহা কঠিন অবস্থা হইতে তরলীভূত হইতে থাকিবে। সমগ্র কঠিন পদার্থ গলিয়া তরল পদার্থে পরিণত না হওয়া পর্যন্ত তাপপ্রয়োগ সত্ত্বেও পদার্থটির উষ্ণতা পরিবর্তিত হইবে না। পদার্থবিশেষের গলনের এইরূপ নির্দিষ্ট উষ্ণতাকে ঐ কঠিন পদার্থের গলনাঙ্ক বলা হয়। গলন সম্পূর্ণ হইয়া যাইবার পরও তাপপ্রয়োগ চলিতে থাকিলে এবার তরলের উষ্ণতা বাড়িতে থাকিবে।

তাপপ্রয়োগের ফলে সময়ের সহিত কোন পদার্থের উষ্ণতা কিভাবে বদলায় তাহা চিত্র ৩৬এ একটি লেখ-র সাহায্যে মোটামুটিভাবে দেখান হইয়াছে। প্রারম্ভ সময় হইতে A' সময় পর্যন্ত তাপপ্রয়োগের ফলে কঠিন পদার্থের উষ্ণতা ক্রমান্বয়ে বাড়িয়া C হইতে Aতে পৌঁছায়। লেখ-র অংশ CA এই পরিবর্তন সূচিত করিতেছে। A' সময় হইতে B' সময় পর্যন্ত পদার্থের উষ্ণতার অবস্থা সময়-অক্ষের সমান্তরাল AB রেখা দ্বারা সূচিত হইয়াছে। অর্থাৎ, এই সময় ধরিয়া তাপ প্রয়োগ সত্ত্বেও উষ্ণতা অপরিবর্তিত রহিয়াছে।



চিত্র ৩৬

Aতে গলন স্থুরু হইয়াছে এবং Bতে সবটুকু কঠিন পদার্থ তরলীভূত হইয়াছে। ইহার পর তাপ দিলে তরল পদার্থের উষ্ণতা BD পথ ধরিয়া আবার বাড়িতে থাকিবে।

কেলাসিত ও বিশুদ্ধ প্রত্যেক কঠিন পদার্থেরই নিদিষ্ট চাপে একটি নির্দিষ্ট **গলনাঙ্ক** আছে। বিভিন্ন কঠিন পদার্থের গলনাঙ্ক বিভিন্ন। আবার কোন তরল পদার্থকে ক্রমাগত ঠাণ্ডা করিলে (নির্দিষ্ট চাপে) ইহার উষ্ণতা একটি নিদিষ্ট তাপাঙ্ক পর্যন্ত নামিবে। এই নিদিষ্ট তাপাঙ্কে পৌঁছাইবার পরও তাপ হরণ করা হইতে থাকিলে তরল পদার্থ ধীরে ধীরে কঠিন পদার্থে পরিণত হইতে থাকিবে। সবটুকু তরল পদার্থ জমিয়া কঠিন না হওয়া পর্যন্ত উষ্ণতা ঐ নির্দিষ্ট তাপাঙ্কেই স্থির থাকিবে। সবটুকু তরল কঠিনীভূত হইয়া যাইবার পরও তাপহরণ-প্রক্রিয়া চলিতে থাকিলে কঠিন পদার্থের উষ্ণতা আস্তে আস্তে কমিতে থাকিবে। যে নির্দিষ্ট উষ্ণতার কথা বলা হইল, উহাকে ঐ নির্দিষ্ট চাপে তরল পদার্থটির জমাট বাঁধার তাপাঙ্ক (বা কঠিনীভবন তাপাঙ্ক, বা **কঠিনাঙ্ক**) বলা হয়। কেলাসিত বিশুদ্ধ কঠিন পদার্থের গলনাঙ্ক এবং ঐ তরলের জমাট বাঁধার তাপাঙ্ক সমান (অর্থাৎ গলনাঙ্ক ও কঠিনাঙ্ক একই) হয়। গলনাঙ্ক ও কঠিনাঙ্কের সংজ্ঞা দিতে গিয়া নির্দিষ্ট চাপের কথা বলা হইয়াছে। ইহার কারণ এই যে, চাপ বদলাইয়া গেলে গলনাঙ্ক কিছুটা পরিবর্তিত হয়, অর্থাৎ বিভিন্ন চাপে গলনাঙ্কের মান একেবারে এক হয় না।

কোন কঠিন পদার্থের এক বায়ুমণ্ডলীয় চাপের গলনাঙ্ককে উহার '**স্বাভাবিক গলনাঙ্ক**' (normal melting-point) বলা হয়। শুধু 'গলনাঙ্ক' বলিলে আমরা সাধারণতঃ সংশ্লিষ্ট পদার্থের স্বাভাবিক গলনাঙ্ককেই বুঝিয়া থাকি। বরফের গলনাঙ্ক 0° সে., পারদের – 39° সে., ন্যাপথালিনের 80° সে., ইত্যাদি।

সান্দ্র অবস্থা (viscous state).—লোহা, কাঁচ, পীচ্, মোম, ইত্যাদি কতকগুলি পদার্থের কোন নির্দিষ্ট গলনাঙ্ক নাই। পোর্সিলেনের একটি পাত্রে কিছু পীচ্ গরম কর। দেখিবে যে কঠিন পীচ্ তরল পীচে পরিণত হইবার পূর্বে একটি সান্দ্র অবস্থার মধ্য দিয়া যাইবে। এই পর্যায়ে পীচ্ না-কঠিন না-তরল অবস্থায় থাকে। কোন কাঁচের রড বা নলকে ক্রমে গরম করিতে থাকিলে উহা এইরূপ একটি আঠাল সান্দ্র অবস্থার মধ্য দিয়া যাইবে। আরও উত্তপ্ত করিলে তবে উহা একেবারে তরল কাঁচে পরিণত হইবে। গ্লিসারিণ, অ্যাসিটিক্ অ্যাসিড, তৈল, এবং কয়েক রকমের জৈব অ্যাসিডও তরল অবস্থা হইতে কঠিন অবস্থায় পরিবর্তিত হওয়ার সময় এইরূপ আঠাল অবস্থার মধ্য দিয়া যায়। এই পদার্থগুলির গলন বা জমন এক উষ্ণতা হইতে আর-এক উষ্ণতা অবধি ঘটিয়া থাকে, অর্থাৎ ইহাদের কোন নির্দিষ্ট গলনাঙ্ক নাই। রঞ্জনরশ্মির সাহায্যে পরীক্ষা করিয়া জানা গিয়াছে যে, সুনির্দিষ্ট গলনাঙ্কবিশিষ্ট পদার্থসমূহ স্ফটিকাকার হইয়া থাকে। আর কাঁচ, পীচ্ ইত্যাদি যে সকল পদার্থের ঐরূপ সুনির্দিষ্ট গলনাঙ্ক নাই, উহারা হইল **অনিয়তাকার** (amorphous) পদার্থ।

তরল পদার্থের অতিশীতল অবস্থা (supercooling).—কোন বিশুদ্ধ তরল পদার্থকে একেবারে অনড় (free from any vibration) অবস্থায় খুব ধীরে ধীরে ঠাণ্ডা করিতে পারিলে তরল অবস্থায় থাকিয়াই উহা স্বাভাবিক কঠিনাঙ্ক অপেক্ষা নিম্নতর তাপমাত্রায় নামিতে পারে। এই ঘটনাকে **অতিশীতলীকরণ** বলা হয় এবং তরলের ঐ অবস্থাটিকে উহার অতিশীতল অবস্থা বলা হয়। তরল মাত্রেরই অতিশীতল অবস্থা একটি অত্যন্ত অস্থায়ী অবস্থা। সামান্য কম্পনে, বা একটি কঠিন দানা উহাতে যোগ করিলে সঙ্গে সঙ্গে তরল পদার্থটির জমন সুরু হইয়া যায় এবং তাপমাত্রা স্বাভাবিক কঠিনাঙ্কে উন্নীত হয়।

সংকর ধাতুর গলনাঙ্ক.—কোন সংকর ধাতুর গলনাঙ্ক সাধারণতঃ উহার উৎপাদক ধাতুগুলির গলনাঙ্ক অপেক্ষা কম হয়। উচ্চ গলনাঙ্কবিশিষ্ট কোন ধাতুতে কিছুটা বিগলক পদার্থ (flux) মিশাইয়া গলনাঙ্ককে নামাইয়া আনা যায়। উডের ধাতু (Wood's metal), রোজের ধাতু (Rose's metal) ইত্যাদি সংকর পদার্থগুলি কতকগুলি উচ্চ-গলনাঙ্কবিশিষ্ট ধাতুর সংমিশ্রণে তৈয়ারি। উডের মিশ্র ধাতুর গলনাঙ্ক মাত্র 60·50° সে. এবং রোজের মিশ্র ধাতুর গলনাঙ্ক মাত্র 94·5° সে.। বৈদ্যুতিক লাইনের

(electric line) ফিউজ-তারও একপ্রকারের মিশ্র ধাতু। তড়িৎপ্রবাহ মাত্রা ছাড়াইয়া গেলে ফিউজ-তার গরম হইতে হইতে একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় পৌছিলেই গলিয়া যায় এবং তড়িৎপথ ছিন্ন হয়। সমগ্র লাইনটিকে পুড়িয়া যাওয়া হইতে রক্ষা করিবার উদ্দেশ্যে এই উপায় অবলম্বন করা হয়।

ঊর্ধ্বপাতন (sublimation).—ফটকিরি, আয়োডিন, গন্ধক ইত্যাদি কয়েকটি পদার্থ কঠিন পদার্থ হইতে সরাসরি বাষ্পে পরিণত হইতে পারে। এই রূপান্তর অন্তর্বর্তী তরল অবস্থার মধ্য দিয়া হয় না। বরফও খুব ধীরে ধীরে উবিয়া যাইতে পারে। এইরূপ কঠিন পদার্থগুলিকে **উদ্বায়ী** (volatile) বলা হয়। আবার গন্ধকবাষ্পের মত কোন কোন বাষ্প সরাসরি কঠিন পদার্থে পরিণত হইতে পারে। এইরূপভাবে সরাসরি কঠিন হইতে বাষ্পে বা বাষ্প হইতে কঠিন পদার্থে পরিণত হওয়াকে ঊর্ধ্বপাতন বলা হয়।

৬৪। গলন বা জমনের সময় উষ্ণতা অপরিবর্তিত থাকে :—

পরীক্ষা (১).—এক চাঙড় বরফ লইয়া উহাকে ভাঙিয়া ছোট ছোট টুক্‌রা কর। টুক্‌রাগুলি বিশুদ্ধ জল দিয়া পরিষ্কার করিয়া ধুইয়া লও। এখন ব্লটিং কাগজের সাহায্যে ইহাদের শুষ্ক কর। বরফের টুক্‌রাগুলি একটি বীকারের মধ্যে রাখিয়া উহার মধ্যে গর্ত করিয়া একটি থার্মোমিটারের বাল্‌ব ঐ বরফের ভিতর প্রবেশ করাও। দেখিবে যে, থার্মোমিটারের পারদসূত্র নীচে নামিয়া গিয়া 0° সে.তে স্থির হইয়াছে, অর্থাৎ বরফের উষ্ণতা হইল 0° সে.। বুন্‌সেন বার্নারের সাহায্যে বীকারটিকে ধীরে ধীরে উত্তপ্ত কর। দেখিবে যে, সবটা বরফ গলিয়া জল না হওয়া পর্যন্ত উষ্ণতা ঐ 0° সে.এর উপরে উঠিবে না, অর্থাৎ গলনের সময়ে বরাবর উষ্ণতা ঐ 0° সে.তে অপরিবর্তিত থাকিবে। গলনের সময় বরফ ও জল উভয় পদার্থ একই উষ্ণতায় থাকে। বারবার পরীক্ষা করিলেও দেখা যাইবে যে, প্রতিবারই বরফ 0° সে.তে গলে এবং গলিবার সময় বরফ এবং বরফ-গলা জলের মিশ্রণ 0° সে. স্থির উষ্ণতায় থাকে। সব বরফ গলিয়া জল হইয়া যাওয়ার পরও উত্তাপ দেওয়া চলিতে থাকিলে 0° সে. হইতে তাপমাত্রা এবার বাড়িতে থাকিবে।

পরীক্ষা (২).—কিছুটা ন্যাপ্‌থালিন গলাইয়া তরল করিয়া উহার তাপমাত্রা 90° সে.এ কাছাকাছি হইলে উহা হইতে খানিকটা একটি বড় টেস্ট টিউবের মধ্যে রাখ। 100° সে. পাল্লার একটি থার্মোমিটার লও এবং উহার বাল্‌বটি ন্যাপ্‌থালিনের মধ্যে ডুবাইয়া রাখ। টেস্ট টিউবটি স্ট্যাণ্ডে বসাইয়া দাও, উহা জুড়াইতে থাকুক। তরলের অবস্থার প্রতি লক্ষ্য রাখ। তরল ন্যাপ্‌থালিন যে মুহূর্তে অস্বচ্ছ হইতে (বা

জমিতে) সুরু করিবে তৎক্ষণাৎ থার্মোমিটার হইতে উষ্ণতার পাঠ লও। দেখিবে, পাঠ হইবে প্রায় 80° সে.। সমগ্র ন্যাপ্‌থালিন সাদা না হইয়া যাওয়া (অর্থাৎ জমিয়া না যাওয়া) পর্যন্ত উষ্ণতার পাঠের উপর লক্ষ্য রাখ। দেখিবে যে, উষ্ণতা 80° সে.তে অপরিবর্তিত থাকিবে। ইহার পর তাপমাত্রা কমিতে থাকিবে। টেস্ট টিউবটিকে এবার পুনরায় ধীরে ধীরে গরম কর। পর্যবেক্ষণ করিতে থাকিলে দেখিবে যে, ন্যাপথালিন পুনরায় স্বচ্ছ হইতে আরম্ভ করিলে (অর্থাৎ গলিতে আরম্ভ করিলে) উষ্ণতার পাঠ প্রায় ঐ 80° সে.ই হইবে। গলন শেষ না হওয়া পর্যন্ত 80° সে.তে ঐ পাঠ অপরিবর্তিত থাকিবে।

উপরে বর্ণিত পরীক্ষা দুইটি প্রমাণ করে যে, গলন বা জমন ক্রিয়া চলা থাকার অবস্থায় পদার্থের উষ্ণতার কোন পরিবর্তন ঘটে না।

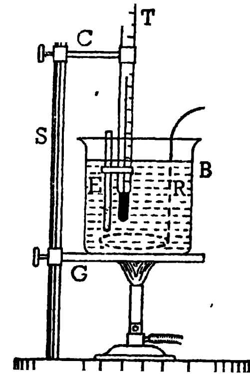
৬৫। গলন বা জমনে কঠিন পদার্থের আয়তনের পরিবর্তন :—তামা, রূপা, ইত্যাদি অধিকাংশ পদার্থের ক্ষেত্রেই তরল অবস্থা হইতে কঠিন অবস্থায় রূপান্তরের সময় বস্তুর আয়তন কমে। বিপরীত প্রক্রিয়ায়, কঠিন অবস্থা হইতে তরল অবস্থায় গেলে ইহাদের আয়তন বৃদ্ধি পায়। আবার কতকগুলি পদার্থের আচরণ ইহার ঠিক বিপরীত। যেমন জল বরফ হইলে আয়তনে বাড়ে, আবার বরফ জল হইলে আয়তনে কমে। 0° সে.তে 11 ঘন সে.মি. জল 0° সে.র বরফে পরিণত হইলে 12 ঘন মি. আয়তন অধিকার করে, অর্থাৎ জমিয়া কঠিন হওয়ার ফলে এই ক্ষেত্রে আয়তনবৃদ্ধি ঘটে শতকরা 9 ভাগ। এই কারণেই জল অপেক্ষা বরফ হাল্‌কা এবং বরফ জলে ভাসে। বরফ যখন জলে ভাসন্ত থাকে তখন উহার আয়তনের $\frac{1}{12}$ অংশ জলের উপরে থাকে। অবরুদ্ধ জল কোন স্থানে জমিলে প্রসারণের ফলে উহা দ্বারা প্রচণ্ড বলের সৃষ্টি হয়। শীতের দেশে প্রচণ্ড শীতের সময়ে এই কারণে জলবাহী পাইপগুলি অনেক সময় ফাটিয়া যায়। ঢালাই লোহা, বিস্‌মাথ, অ্যাণ্টিমনি ইত্যাদির ক্ষেত্রেও গলনে আয়তনহ্রাস এবং জমনে আয়তন-বৃদ্ধি ঘটে। হ্রাসবৃদ্ধির পরিমাণ অবশ্য বিভিন্ন পদার্থের ক্ষেত্রে বিভিন্ন হয়।

৬৬। পদার্থের গলনাঙ্ক নির্ণয় করা :—গলনাঙ্ক কোন্ উষ্ণতার পাল্লায় হইবে তাহার উপর গলনাঙ্ক নির্ণয়ের পদ্ধতি নির্বাচন নির্ভর করে। তাপদানের মাধ্যম ও আধার, প্রয়োজনীয় থার্মোমিটার, প্রভৃতি সবকিছুই বিভিন্ন উষ্ণতার পাল্লায় বিভিন্ন হইবে।

0° সে. হইতে 100° সে.এর মধ্যবর্তী কোন গলনাঙ্ক নির্ণয়ের উপযোগী দুইটি সহজ পদ্ধতি নিম্নে বর্ণনা করা হইল। মনে করা যাক্ যে, পরীক্ষণীয় পদার্থ হইল

ন্যাপ্‌থালিন (গলনাঙ্ক 80° সে.)। জলগাহের (water-bath) সাহায্যে সহজেই লেবরেটরিতে এই মাত্রার উষ্ণতা সৃষ্টি করা যায়। প্রদত্ত পদার্থ কোন কাঁচের আধারের মধ্যে রাখা হয়। 0° সে. হইতে 110° সে. পাল্লার একটি সাধারণ পারদ থার্মোমিটার এক্ষেত্রে ব্যবহার করা যাইবে। গলন বা জমন খালি চোখে দেখিয়াই এক্ষেত্রে বুঝা যাইবে।

(ক) কৈশিক নলপদ্ধতি (Capillary Tube method).—একটি কাঁচের নলের মধ্যভাগ ব্লো-পাইপের অগ্নিশিখায় ধর। যথেষ্ট নরম হইলে উহার দুই প্রান্ত টানিয়া $\frac{1}{2}$ মি.মি.এর কাছাকাছি ব্যাসের একটি কৈশিক নল তৈয়ারি কর। ইহা হইতে আনুমানিক 2 ইঞ্চি দৈর্ঘ্যের একটি খণ্ড কাটিয়া লও। এখন কিছু ন্যাপ্‌থালিন কোন পাত্রে গরম করিয়া গলাও। তারপর ঐ কৈশিক নলখণ্ডটির মধ্যে 1 ইঞ্চি পরিমাণ তরলীভূত স্বচ্ছ ন্যাপ্‌থালিন টানিয়া লও। তারপর ব্লো-পাইপের শিখায় ধরিয়া নলের উভয় মুখ সীল করিয়া দাও। এখন এই ক�ৈশিক নল (E)টি থার্মোমিটারের বাল্‌বের সঙ্গে একটি সুতা দিয়া বাঁধিয়া দাও। স্ট্যাণ্ড Sএর রিং ক্ল্যাম্প Gর উপর একটি তারের জাল অনুভূমিকভাবে রাখ এবং এই জালের উপর একটি জলপূর্ণ বীকার (B) বসাও। একটি বুন্‌সেন বার্নারের সাহায্যে বীকারের তলায় তাপ দিয়া জল গরম করিতে থাক। S-স্ট্যাণ্ডের আর-একটি ক্ল্যাম্পের (C) সাহায্যে নলবাঁধা থার্মোমিটারটি খাড়া করিয়া এমনভাবে ধর যেন বাল্‌ব ও কৈশিক নল জলের মধ্যে অনেকটা গভীরে ডোবান থাকে।



চিত্র ৩৭

এবার বার্নার জালিয়া বীকারের জলের উষ্ণতা বৃদ্ধি করিতে থাক। আন্দোলক-কাঠি (R) দ্বারা জল নাড়িতে থাক যাহাতে জলের উষ্ণতা সর্বত্র এক হয়। কৈশিক নলের মধ্যস্থিত ন্যাপ্‌থালিনের উপর নজর রাখ। দেখিবে এক সময় অস্বচ্ছ কঠিন ন্যাপ্‌থালিন স্বচ্ছ তরল ন্যাপ্‌থালিনে পরিণত হইতে সুরু করিবে। থার্মোমিটার হইতে তখনকার উষ্ণতার পাঠ নাও। এই উষ্ণতাই মোটামুটিভাবে ন্যাপ্‌থালিনের গলনাঙ্ক হইবে। ক্রমশঃ তাপ দিয়া সবটুকু ন্যাপ্‌থালিনই গলিয়া যাইতে যাও। গলন সম্পূর্ণ না হওয়া পর্যন্ত দেখিবে যে, থার্মোমিটারের পাঠ ঐ একই আছে। গলন সম্পূর্ণ হইয়া গেলে তরলীভূত ন্যাপ্‌থালিনের

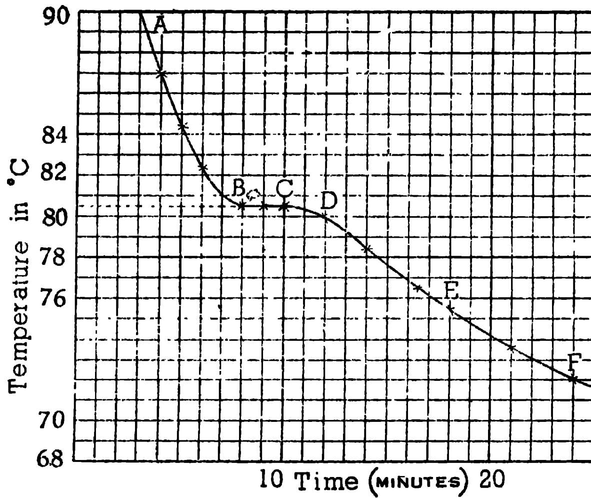
উষ্ণতা বাড়িতে থাকিবে। এখন বার্‌নারের শিখা সরাইয়া রাখিয়া বীকারের জল আন্দোলন-কাঠির দ্বারা নাড়িতে থাক। ইহাতে জল শীতল হইতে থাকিবে, উষ্ণতাও সর্বত্র এক থাকিবে। এরপর স্বচ্ছ তরল ন্যাপ্‌থালিন আবার যখন অস্বচ্ছ হইতে অর্থাৎ কঠিনীভূত হইতে আরম্ভ করিবে তখন থার্মোমিটার হইতে আবার উষ্ণতার পাঠ লও। ইহাই হইবে মোটামুটিভাবে তরল ন্যাপ্‌থালিনের জমনাঙ্ক। গলনাঙ্ক ও জমনাঙ্কের মধ্যের পার্থক্য এক ডিগ্রীর বেশী হওয়া উচিত নয়। গলনাঙ্ক ও জমনাঙ্কের গড় বাহির কর। এই গড় তাপমাত্রাই ন্যাপ্‌থালিনের সর্বাপেক্ষা সম্ভাব্য গলনাঙ্ক।

(খ) ক্রমশীতল-লেখ (cooling curve)**র সাহায্যে।**—মনে কর, কোন কঠিন পদার্থকে গলাইয়া তরল অবস্থায় উহার উষ্ণতা আরও বাড়ান হইল। এখন ইহাকে মুক্ত বায়ুতে শীতল হইতে দিলে ইহার উষ্ণতা ধীরে ধীরে কমিতে কমিতে ক্রমে কঠিনাঙ্কে উপনীত হইবে। সবটুকু তরল পদার্থ কঠিনীভূত না হওয়া পর্যন্ত কিছু সময় ধরিয়া ইহার উষ্ণতা এই তাপাঙ্কেই স্থির থাকিবে। তরলের সবটাই কঠিন হওয়ার পর কঠিন অবস্থায় এরপর উষ্ণতা আরও ধীরে ধীরে এবার কমিতে থাকিবে। ক্রমশীতল-পদ্ধতিতে কঠিনাঙ্ক বা গলনাঙ্ক নির্ণয়ের কার্য এইরূপ ঘটনা পর্যবেক্ষণ-দ্বারাই করা হয়।

পরীক্ষা।—একটি বড় টেস্ট টিউবের মধ্যে কিছু ন্যাপথালিনচূর্ণ লও। ঐ ন্যাপ্‌থালিনের মধ্যে একটি থার্মোমিটারের বাল্‌ব ঢুকাইয়া রাখিয়া থার্মোমিটারটি খাড়া করিয়া ধর। টেস্ট টিউবটি একটি কাঁচের বীকারের জলের মধ্যে রাখিয়া বীকারটি বুন্‌সেন শিখায় গরম করিয়া জলগাহের উষ্ণতা বাড়াইয়া সবটুকু ন্যাপ্‌থালিন গলাইয়া ফেল। তরল ন্যাপ্‌থালিনের উষ্ণতা যেন আনুমানিক 90° সে.এর কাছাকাছি হয়। এখন স্বচ্ছ তরল ন্যাপ্‌থালিনপূর্ণ টেস্ট টিউবটি (থার্মোমিটার প্রবিষ্ট অবস্থায়) জলগাহ হইতে বাহিরে আন। টেস্ট টিউবের বাহিরের গাত্র মুছিয়া শুষ্ক করিয়া লও। বাতাসের ঝাপ্‌টা যাহাতে টেস্ট টিউবকে খুব তাড়াতাড়ি ঠাণ্ডা করিতে না পারে এজন্য টেস্ট টিউবকে একটি খালি বীকারের মধ্যে বসাও এবং থার্মোমিটারটিকে একটি ক্ল্যাম্পের সাহায্যে খাড়া করিয়া ধরার ব্যবস্থা কর।

এখন প্রতি এক মিনিট অন্তর থার্মোমিটার হইতে উষ্ণতার পাঠ লইতে থাক। কিছুক্ষণ পরে দেখিবে স্বচ্ছ তরল ন্যাপ্‌থালিন অস্বচ্ছ হইতে অর্থাৎ জমিতে সুরু করিয়াছে। সবটুকু ন্যাপ্‌থালিন জমিয়া গেলেও মিনিট পনরো পর্যন্ত উষ্ণতার পাঠ এক মিনিট অন্তর অন্তর লইতে থাকিবে। সময়কে X-অক্ষ ধরিয়া এবং উষ্ণতাকে

Y-অক্ষ ধরিয়া একটি লেখ আঁক। চিত্র ৩৮এ প্রদর্শিত $ABCDEF$এর মত একটি লেখ পাওয়া যাইবে। ইহাকেই ক্রমশীতল-লেখ বলা হয়! লেখটির AB, BCD ও DEF এই তিনটি বিশিষ্ট অংশ আছে। প্রথম অংশ AB প্রায় খাড়া নীচে নামিয়া আসে। এই সময় ধরিয়া তরল পদার্থটি দ্রুত শীতল হইতে থাকে। BC অংশ সময়-অক্ষের সমান্তরাল, **অর্থাৎ এই অংশ ধরিয়া গলন চলিতে থাকে** এবং উষ্ণতা অপরিবর্তিত থাকে। এই অপরিবর্তিত উষ্ণতার মান লেখ হইতে 80·5° সে. পাওয়া গেল, মনে কর। ইহা হইবে মোটামুটিভাবে পদার্থটির কঠিনাঙ্ক। Dতে



চিত্র ৩৮—ক্রমশীতল-লেখ।

সবটুকু ন্যাপ্‌থালিনই কঠিন হইয়া গিয়াছে। ইহার পর কঠিন ন্যাপ্‌থালিনের উষ্ণতা DEF অংশ-বরাবর ক্রমে কমিতে থাকে। DEF অংশের উষ্ণতা-হ্রাসের হার AB অংশের উষ্ণতা-হ্রাসের হার অপেক্ষা কম হয়। কারণ, তাপমাত্রা DEF অংশে কম বলিয়া উষ্ণতা-হ্রাসের হারও এই অংশে কম হয়।

পরীক্ষা শেষ হইলে কঠিন ন্যাপ্‌থালিনপূর্ণ টেস্ট টিউবটি (থার্মোমিটার প্রবিষ্ট অবস্থায়) জলগাহের মধ্যে রাখিয়া গাহের উষ্ণতা ধীরে ধীরে বৃদ্ধি করিয়া পূর্বের পদ্ধতির কার্যক্রম অনুসরণ করিয়া একটি ক্রম-উষ্ণ-লেখ (heating curve) তৈয়ারি করা যাইবে। ক্রম-উষ্ণ-লেখটি একই বর্গরেখ ক্ষেত্রের উপর আঁকা যাইতে পারে। ক্রম-উষ্ণ-লেখ

ক্রমশীতল-লেখ-র এক জাতীয়ই হইবে, তবে তফাৎ হইবে এই যে, ক্রম-উষ্ণ-লেখ-র বেলা উষ্ণতা স্পষ্টতঃই বাড়িতে থাকিবে। ক্রম-উষ্ণ-লেখতেও সময় অক্ষের সমান্তরাল একটি অংশ BCD অংশের ন্যায় থাকিবে। ইহা ন্যাপ থালিনের গলনের স্থির তাপাঙ্ক সূচিত করিবে।

পরীক্ষণীয় পদার্থ বিশুদ্ধ স্ফটিকাকারের হইলে উভয় লেখ-র ক্ষেত্রেই BCD অংশ প্রায় একই স্থির উষ্ণতা সূচিত করিবে। উভয় লেখ-র দ্বারা সূচিত স্থির উষ্ণতার গড় হইবে পদার্থটির গলনাঙ্ক বা কঠিনাঙ্ক।

দ্রষ্টব্য ঃ পদার্থটি যদি বিশুদ্ধ একই পদার্থ না হইয়া অনেকগুলি পদার্থের মিশ্রণ হয় তবে উহার অন্তর্গত বিভিন্ন পদার্থের গলনাঙ্ক অনুযায়ী ক্রমশীতল বা ক্রম-উষ্ণ-লেখতে কয়েকটি অনুভূমিক (সময়-অক্ষের সমান্তরাল) ধাপ (step) পাওয়া যাইবে।

৬৭। গলনাঙ্কর উপর চাপের প্রভাব :—

(ক) কোন পদার্থের গলনে আয়তনহ্রাস ঘটিলে (যেমন বরফ, ঢালাই লোহা, বিস্মাথ, অ্যান্টিমনি ইত্যাদির ক্ষেত্রে) ঐরূপ পদার্থের ক্ষেত্রে চাপবৃদ্ধিতে গলনাঙ্ক হ্রাস পায়।

(খ) কোন পদার্থের গলনে আয়তনবৃদ্ধি ঘটিলে (যেমন মোম, তামা, রূপা ইত্যাদির ক্ষেত্রে) ঐরূপ পদার্থের ক্ষেত্রে চাপবৃদ্ধিতে গলনাঙ্ক বাড়িয়া যাইবে।

0° সে. উষ্ণতার বরফের ক্ষেত্রে, এক বায়ুমণ্ডল চাপ পরিমিত চাপ বাড়ান হইলে গলনাঙ্ক $0{\cdot}0073^\circ$ সে. কমে। স্বাভাবিক বায়ুমণ্ডলীয় চাপে মোম 46° সে.তে গলিয়া যায়, কিন্তু 100 বায়ুমণ্ডলচাপে মোম গলে 50° সে.তে।

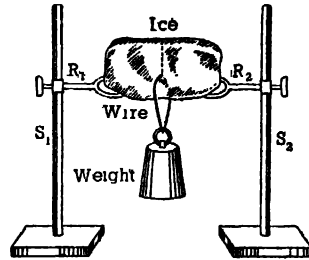
পুনঃশিলীভবন (Regelation).—দুই টুকরা বরফ লইয়া কিছুক্ষণ ইহাদিগকে একত্রে চাপিয়া রাখ। চাপ প্রত্যাহার করিলে দেখিতে পাইবে যে, দুই টুকরা বরফ জুড়িয়া গিয়া এক হইয়া গিয়াছে। এই ঘটনাকেই পুনঃশিলীভবন বলা হয়। চাপের ফলে গলনাঙ্ক কমিয়া যায়। ফলে, টুকরাদুইটির সাধারণ তলে খানিকটা বরফ গলিয়া যায়, কারণ বরফের তাপমাত্রা এখন ঐ গলনাঙ্ক হইতে কিঞ্চিৎ অধিক হয়। চাপ প্রত্যাহার করিলে গলনাঙ্ক পুনঃ বৃদ্ধি পায় এবং নিম্ন তাপমাত্রার ঐ গলা-জল তখন বরফে পরিণত হইয়া টুকরাদুইটিকে জুড়িয়া এক করিয়া দেয়।

স্কেট (skate)এর ফলা ক্রমে সরু করিয়া তৈয়ারি করা হয়। নিম্ন তল খুব সরু হওয়ার ফলে স্কেটিংরত ব্যক্তির ভার সামান্য ক্ষেত্রফলের উপরে কাজ করে এবং

বেশি চাপ সৃষ্টি করে। এই চাপে নিম্নস্থ বরফ গলিয়া যায় (গলনাঙ্ক কমিয়া যায় বলিয়া) এবং স্কেট এই জলের দুই ধারের বরফের উপর কিছুটা ভর দিয়া সম্মুখে চলিতে পারে। স্কেট-আরোহী সম্মুখে অগ্রসর হইয়া গেলে চাপ সরিয়া যাওয়ার ফলে গলনাঙ্ক বৃদ্ধি পায় বলিয়া চলার পথের ঐ জল পুনরায় জমিয়া বরফ হইয়া যায়। এইরূপ ঘটনাগুলি হইতে আমরা সিদ্ধান্ত করিতে পারি যে, "চাপ বরফ গলায় সাহায্য করে।" আবার কেহ যদি বলে যে, "চাপ তরল মোমকে জমাট বাধিতে সাহায্য করে" তবে ঐ উক্তিরও যৌক্তিকতা আমরা বুঝিতে পারি, কারণ আমরা জানি মোমজাতীয় পদার্থের বেলা চাপবৃদ্ধিতে গলনাঙ্ক বৃদ্ধি পায়।

পুনঃশিলীভবন প্রদর্শনের নিম্নলিখিত পরীক্ষাগুলি লেবরেটরিতে করা যাইতে পারে।—

প্রথম পরীক্ষা।—চিত্র ৩৯ দেখ। R_1 এবং R_2 হইল S_1 ও S_2 স্ট্যাণ্ডের উপর সম উচ্চে বসানো দুইটি রিং ক্ল্যাম্প। এইরূপে যে দুইটি সমান উচ্চ পাটাতন তৈয়ারি হইল উহাদের উপর বরফের একটি বেশ বড় চাঙড় চিত্রে যেরূপ দেখান আছে ঐরূপে রাখ। বরফের উপর দিয়া ঘের দিয়া এক লহর একটি তারের হার তৈয়ারি কর। তারটির তলায় একটি ভারি ওজনের লকেট ঝুলাইয়া দাও। লক্ষ্য করিতে থাক—দেখিবে যে, আধ-ঘণ্টার মধ্যেই তারের হারটি বরফ কাটিয়া নীচে নামিয়া যাইবে, কিন্তু বরফখণ্ড বিভক্ত হইবে না, অখণ্ড থাকিয়া যাইবে। ইহার ব্যাখ্যা সহজ। তারের চাপে বরফের গলনাঙ্ক কমিয়া যাওয়ার ফলে ইহার নিম্নস্থ বরফ গলিয়া জল হয়। তার লকেটের ভারে এই জলের মধ্য দিয়া নীচে নামিয়া যায়। তার নামিয়া গেলেই চাপ কমিয়া যায় এবং উপরের ঐ জল (চাপমুক্তির ফলে গলনাঙ্ক বাড়িয়া যাওয়ায়) পুনরায় জমিয়া বরফ হইয়া যায়।



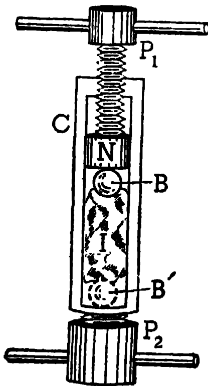
চিত্র ৩৯

দ্রষ্টব্য : (ক) টোন সুতা তাপের কুপরিবাহক। সুতরাং পরীক্ষার তার হিসাবে টোন সুতা ব্যবহার করা যাইবে না। ধাতব তার ব্যবহার করা প্রয়োজন। তারটি তাপের যত ভাল পরিবাহক হইবে, তারটি তত তাড়াতাড়ি বরফ কাটিয়া নীচে নামিবে। ইহার কারণ এই যে, তারের নিম্নস্থ বরফ গলার জন্য তাপ প্রয়োজন। তারের

উপরের জলেরও জমাট বাধার জন্য তাপ ত্যাগ করা প্রয়োজন। এইজন্যই তার কত তাড়াতাড়ি উহার উপরের জলের তাপ নিম্নস্থ বরফে যাইতে দিবে তাহার উপরই পরীক্ষার সাফল্য নির্ভর করে। এইজন্য উত্তম তাপ-পরিবাহক ধাতব তারের প্রয়োজন, টোন সুতায় চলিবে না।

(খ) পরীক্ষাটির সাফল্যের জন্য বরফখণ্ডের বহিঃস্থ বায়ুমণ্ডলের উষ্ণতা 0° সে.এর ঊর্ধ্বে থাকা আবশ্যক। কারণ নিম্নতর উষ্ণতার ক্ষেত্রে সামান্য চাপ বৃদ্ধি করিয়া বরফের গলনাঙ্ক উপযুক্ত মত হ্রাস করা সম্ভব নয়।

দ্বিতীয় পরীক্ষা—মাউসেনের যন্ত্র (Mousson's apparatus).—C একটি লোহার চোঙ (চিত্র ৪০)। ইহাতে একটি পিস্টন (N) খাটান আছে। পিস্টন রড (P_1)-টিতে স্ক্রু কাটা আছে। চোঙের উপরের মুখের মধ্য দিয়া এই স্ক্রু-রডটি গিয়াছে। হাতল ঘুরাইলে পিস্টন অগ্রে বা পশ্চাতে সরে। চোঙের অপর মুখও একটি স্ক্রু-র দ্বারা বন্ধ করিয়া দেওয়া যায়। প্রথমতঃ চোঙটি উল্টাইয়া উহাতে কিছু জল দিয়া দেওয়া হয়। ঐ জলে একটি ধাতব বল (B) রাখা হইলে বলটি গিয়া পিস্টন Nএর উপর বসে। ঐ অবস্থায় চোঙের চারিদিকে হিম-মিশ্র চাপাইয়া দিয়া ঐ জল জমাইয়া উহাকে বরফে পরিণত করা হয়। এখন P_2 স্ক্রু-দ্বারা খোলা মুখ বন্ধ করিয়া যন্ত্রটিকে খাড়া অবস্থায় রাখিয়া যন্ত্রের চারিদিক বিশুদ্ধ বরফ দিয়া ঢাকিয়া রাখা হয়। এবার P_1 স্ক্রু ঘুরাইয়া পিস্টনটি (N) নামাইলে নীচে বরফের উপর চাপ বাড়িবে। যন্ত্রটির P_2-দিকের মুখ খুলিয়া ফেলিলে দেখা যায় যে, বলটি নীচের মুখ দিয়া বাহির হইয়া আসিয়াছে, অথচ চোঙের জল বরফ অবস্থায়ই আছে। ইহার ব্যাখ্যা এই যে, চাপ বাড়িয়া যাওয়ায় বরফ গলিয়া গিয়া বলটি আপন ভারে নীচে নামিয়া আসে। মুখ খুলিলে চাপ পুনরায় কমিয়া যায় এবং বলের উপরস্থ গলা জল পুনরায় জমিয়া বরফ হইয়া যায়।



চিত্র ৪০

৬৮। গলনের গুপ্ত বা লীন তাপ (Latent heat of fusion) :—পূর্বেই বলা হইয়াছে যে, কোন কঠিন পদার্থকে তাপ দেওয়ায় উহা কোন একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায়

(গলনাঙ্কে) পৌঁছিলে উষ্ণতার পরিবর্তন ব্যতীত উহা তাপ শোষণ করিয়া ক্রমশঃ গলিয়া তরল হইতে থাকে। প্রত্যেক বিশুদ্ধ স্ফটিকাকার পদার্থেরই নিজ নিজ নির্দিষ্ট গলনাঙ্ক আছে। পূর্বেই ইহাও বলা হইয়াছে যে, এই গলনাঙ্কের পরিবর্তন চাপের উপর সামান্য কিছুটা নির্ভর করে। আবার, কোন বিশুদ্ধ স্ফটিকাকার পদার্থকে তরল অবস্থায় ক্রমাগত ঠাণ্ডা করিলে (ইহা হইতে তাপ হরণ করিয়া) উহার উষ্ণতা কঠিনাঙ্কে নামার পর উষ্ণতার পরিবর্তন ব্যতীতই তাপ ত্যাগ করিয়া উহা ক্রমশঃ কঠিন পদার্থে পরিণত হইতে থাকে। গলন অথবা কঠিনীভবন উভয় প্রক্রিয়াতেই সবটুকু পদার্থের অবস্থান্তর না ঘটা পর্যন্ত উষ্ণতা পরিবর্তিত হয় না, উহা স্থির থাকে। কেলাসিত বিশুদ্ধ পদার্থের ক্ষেত্রে গলনাঙ্কের এবং কঠিনাঙ্কের মান সমান, ইহা মনে রাখিবে।

গলনাঙ্কের তাপমাত্রায় অবস্থা পরিবর্তনের ক্ষেত্রে প্রতি গ্রাম পদার্থকে কঠিন হইতে তরলে রূপান্তরিত করিতে যে পরিমাণ তাপের প্রয়োজন, অথবা তরল হইতে কঠিনে রূপান্তরিত করিতে যে পরিমাণ তাপ সরানো প্রয়োজন তাহাকে ঐ পদার্থের গলনের গুপ্ত বা লীন তাপ বলা হয়। প্রত্যেক পদার্থেরই গুপ্ত তাপ উহার একটি নিজস্ব বৈশিষ্ট্য। গলনাঙ্কের পরিবর্তনে গুপ্ত তাপের পরিমাণেও খানিকটা পরিবর্তন ঘটে, কিন্তু এই পরিবর্তনের পরিমাণ খুবই কম।

প্রকাশ্য তাপ ও গুপ্ত তাপ (sensible heat and latent heat).—তাপ তাপই, কিন্তু ঘটনা বিশেষে ইহার বিশেষ নামকরণ হয়। তাপ যখন উষ্ণতা বৃদ্ধি করে, ঐ তাপকে প্রকাশ্য তাপ বলা হয়। কিন্তু ঐ তাপের ক্রিয়ায় উষ্ণতাবৃদ্ধি না ঘটিয়া যদি বস্তুর অবস্থান্তর ঘটে, যেমন গলনের বেলা বা বাষ্পীভবনের বেলা, তখন তাপকে বলা হয় গুপ্ত বা লীন তাপ।

৬৯। বিভিন্ন পদ্ধতিতে গুপ্ত বা লীন তাপের মান :—

সি. জি. এস্. পদ্ধতি।—এই পদ্ধতিতে নির্দিষ্ট গলনাঙ্কে তাপমাত্রা স্থির অবস্থায় 1 গ্রাম কঠিন পদার্থকে গলাইয়া তরল করিতে যত ক্যালরি তাপের প্রয়োজন তাহাকে ঐ পদার্থের গলনের গুপ্ত তাপ বলা হয়। 0° সে. গলনাঙ্কে বরফগলনের জন্য প্রয়োজনীয় গুপ্ত তাপ হইল 80 ক্যালরি, প্রতি গ্রামে। 0° সে তে 1 গ্রাম জল জমিয়া বরফ হইতে গেলেও ঐ একই পরিমাণ তাপ ত্যাগ করিবে। 80 ক্যালরি, প্রতি গ্রামে যে কথা 80 সেন্টিগ্রেড-তাপ-একক (C. H. U.), প্রতি পাউণ্ডে, ঐ একই কথা।

এফ্. পি. এস্. পদ্ধতি।—এই পদ্ধতিতে, নির্দিষ্ট গলনাঙ্কে তাপমাত্রা স্থির অবস্থায় 1 পাউণ্ড কঠিন পদার্থকে তরলে পরিণত করিতে যত বৃটিশ-তাপ-এককের দরকার হয় তাহাকে ঐ পদার্থের গলনের গুপ্ত তাপ বলে। $\frac{1^\circ \text{ সে.এর মান}}{1^\circ \text{ ফা.এর মান}}=\frac{9}{5}$। তাহা হইলে, বৃটিশ-তাপ-এককে গলনের গুপ্ত তাপ ব্যক্ত করিতে হইলে উহা ক্যালরি, প্রতি গ্রামে (বা সেন্টিগ্রেড-তাপ-একক, প্রতি পাউণ্ডে) যাহা হইবে তাহার $\frac{9}{5}$ গুণ হইবে। অতএব এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে বরফগলনের গুপ্ত তাপ $=80\times\frac{9}{5}=144$, বৃটিশ-তাপ-একক, প্রতি পাউণ্ডে হইবে।

দ্রষ্টব্য : 'বরফের গুপ্ত তাপ 80' কথাটির অর্থ এই যে, 0° সে.তে 1 গ্রাম বরফকে জলে পরিণত করিতে হইলে 80 ক্যালরি তাপের প্রয়োজন হইবে। অথবা, 0° সে.তে 1 গ্রাম জলকে বরফে পরিণত করিতে হইলে উহা হইতে 80 ক্যালরি তাপ সরাইতে হইবে। শীতের দেশে উষ্ণতা 0°. সে. হইলেও হ্রদের জল সহজে বরফে পরিণত হয় না। প্রতি গ্রাম জল হইতে 80 ক্যালরি তাপ চলিয়া না যাওয়া পর্যন্ত জল জমাট বাধিবে কি করিয়া ? তাই বরফ জমিতে সময় লাগিবে।

৭০। গুপ্ত বা লীন তাপের বাস্তব অস্তিত্ব :—

পরীক্ষা।—পরীক্ষাটির প্রথম পর্যায়ে, 80° সে. উষ্ণতাসম্পন্ন 100 গ্রাম জলের সহিত 0° সে. উষ্ণতাসম্পন্ন 100 গ্রাম জল মিশাও। মিশ্রণটি আন্দোলক-কাঠিদ্বারা ভালভাবে নাড়িয়া একটি থার্মোমিটারের সাহায্যে উহার সর্বোচ্চ সাধারণ উষ্ণতা মাপ। দেখিবে যে ইহা 40° সে. হইয়াছে। দ্বিতীয় পর্যায়ে এবার 80° সে. উষ্ণতাসম্পন্ন 100 গ্রাম জলের সহিত 0° সে. তাপমাত্রার 100 গ্রাম বিশুদ্ধ বরফ মিশাও। সবটুকু বরফ না গলা পর্যন্ত আন্দোলক-কাঠিদ্বারা মিশ্রণটি নাড়িতে থাক। সবটুকু বরফ গলিয়া যাওয়া মাত্র মিশ্রণের সর্বোচ্চ সাধারণ উষ্ণতা কত হইল দেখ। দেখিবে যে, উষ্ণতা এবার 40° সে. না হইয়া 0° সে.-তেই রহিয়াছে। ইহার কারণ এই যে, 100 গ্রাম জল উহার উষ্ণতা 80° সে. হইতে 0° সে.তে নামিতে যেটুকু তাপ ত্যাগ করিয়াছে, [$100\times1\times(80-0)=8000$ ক্যালরি], তাহা 100 গ্রাম বরফ গলনের জন্য প্রয়োজনীয় গুপ্ত তাপ ($100\times80=8000$ ক্যালরি) সরবরাহ করিয়াছে। বাড়তি আর-কোন তাপ ছিল না বলিয়া

মিশ্রণের সাধারণ উষ্ণতা 0° সে.তেই রহিয়াছে। ইহা প্রমাণ করে যে, জল ও বরফ উভয়েই 0° সে.তে থাকিলেও জলে গুপ্ত তাপ আছে।

৫১। বরফগলনের গুপ্ত বা লীন তাপ নির্ণয়ের পরীক্ষা ঃ—

(ক) সাধারণ ক্যালরিমিটারের সাহায্যে.—ইহা একটি মিশ্রণপদ্ধতির পরীক্ষা (চিত্র ৩৩ দেখ)।

একটি ক্যালরিমিটারকে উহার আন্দোলক-কাঠিসহ তুলায় ওজন কর। মনে কর, এই ভর $= w_1$ গ্রাম। লেবরেটরির তাপমাত্রা হইতে আনুমানিক 5° সে. অধিক তাপমাত্রাবিশিষ্ট জল দ্বারা ক্যালরিমিটারটির অর্ধেক ভর্তি কর। জলসহ ক্যালরিমিটারের ওজন (w_2 গ্রাম) নির্ণয় কর। সুতরাং গৃহীত জলের ভর $=(w_2 - w_1)$ গ্রাম। ক্যালরিমিটারটিকে জ্যাকেট Jর মধ্যে বসাইয়া দাও। একটি সূক্ষ্ম মাপের ($\frac{1}{5}$° সে. ভাগ পর্যন্ত সঠিকভাবে মাপিবার উপযোগী) থার্মোমিটারের সাহায্যে জলের তাপমাত্রা সযত্নে নির্ণয় কর। মনে কর যে, এই প্রারম্ভিক উষ্ণতা $= t_1$° সে.। ইহার পর একতাল বরফ লইয়া উহাকে ভাঙিয়া টুক্‌রা টুক্‌রা কর। টুক্‌রাগুলি বিশুদ্ধ জল দিয়া ধুইয়া ব্লটিং কাগজের সাহায্যে উহাদিগকে শুষ্ক করিয়া লও। বরফের কয়েকটি টুক্‌রা ব্লটিং কাগজ দ্বারা ধরিয়া ক্যালরিমিটারের মধ্যে ফেল। আন্দোলক-কাঠির রিংএর জালির সাহায্যে বরফের টুক্‌রাগুলি জলের ভিতরে চাপিয়া রাখ। মাঝে মাঝে জল নাড়িয়া দিতে থাক। সব বরফটুকু গলিয়া গেলে জলের সর্বনিম্ন তাপমাত্রা কত হইল তাহা থার্মোমিটারটির সাহায্যে মাপ। মনে কর, এই চূড়ান্ত উষ্ণতা হইল t_2° সে.। বরফের পরিমাণ বিচার-বিবেচনা করিয়া এমনভাবে লইতে হইবে যে, t_2° সে. যেন লেবরেটরির তাপমাত্রার আনুমানিক 5° সে. নীচে হয়। এখন ক্যালরিমিটারটিকে উহার মধ্যস্থ জলসহ আবার ওজন কর। মনে কর, এই ভর w_3 গ্রাম। সুতরাং প্রযুক্ত বরফের পরিমাণ $=(w_3 - w_2)$ গ্রাম।

আংকিক হিসাব.—এই পরীক্ষায় লব্ধ তাপ হইল—

(১) 0° সে.এর বরফ 0° সে.এর জলে পরিণত হইতে যে তাপ লইয়াছে তাহা এবং (২) গলিত বরফ 0° সে. হইতে t° সে.তে উঠিতে যে তাপ লইয়াছে তাহার যোগফল।

ক্যালরিমিটার (আন্দোলকসহ) ও উষ্ণ জল t_1° সে. হইতে t_2 সে.তে নামিয়া আসায় তাপ ত্যাগ করিয়াছে। এই ত্যক্ত তাপ

$=\{(w_1 \times s)+(w_2-w_1)\times 1\}(t_1-t_2)$ ক্যালরি, [s = ক্যালরিমিটার ও আন্দোলকের পদার্থগত আপেক্ষিক তাপ ; জলের আপেক্ষিক তাপ $=1$]।

বরফ ও বরফ-গলা জল কর্তৃক লব্ধ তাপ

$=[(w_3-w_2)L+\{(w_3-w_2)\times 1\times(t_2-0)\}]$ ক্যালরি, [$L=0^\circ$ সেতে বরফগলনের গুপ্ত বা লীন তাপ]।

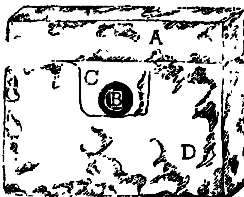
ত্যক্ত তাপ = লব্ধ তাপ, এই নীতি অনুযায়ী

$\{(w_1 \times s)+(w_2-w_1)\}(t_1-t_2)=[(w_3-w_2)L+\{(w_3-w_2)(t_2)\}]$;

বা, $L=\dfrac{\{w_1 s+(w_2-w_1)\}(t_1-t_2)}{(w_3-w_2)}-t_2$

মন্তব্য ঃ খালি হাতে ধরা হইলে হাতের তাপ দ্বারা বরফের খানিকটা আগেই গলিয়া যাইবে। ক্যালরিমিটারে শুষ্ক বরফ যোগ করিতে হইবে, তাই উহা খালি হাতে ধরা চলিবে না। জলের প্রারম্ভিক উষ্ণতা রামফোর্ডের ক্ষতিপূরণ ব্যবস্থার নীতি অনুযায়ী (অনুচ্ছেদ ৫৪ দ্রষ্টব্য) লেবরেটরির উষ্ণতার ঊর্ধ্বে রাখা হইয়াছে। বরফ যাহাতে জলের উপর ভাসিতে না থাকে তাহা দেখা দরকার। নহিলে, বরফের ভাসমান অংশ বহিঃস্থ বায়ু হইতে তাপ শোষণ করিবে। এই পরীক্ষায় উষ্ণতার পরিবর্তন (t_1-t_2)র সঠিক পরিমাপের উপর পরীক্ষালব্ধ ফলাফলের যাথার্থ্য নির্ভর করে। তাই একটি সূক্ষ্ম মাপের থার্মোমিটার ব্যবহার করা প্রয়োজন।

(খ) বরফ-ক্যালরিমিটারের (Ice Calorimeter) সাহায্যে।—ব্ল্যাকের বরফ-ক্যালরিমিটার বা বুনসেনের বরফ-ক্যালরিমিটারের সাহায্যে বরফগলনের গুপ্ত বা লীন তাপ সহজে নির্ণয় করা যায়।



চিত্র ৪১

ব্ল্যাকের বরফ-ক্যালরিমিটার পদ্ধতি।—চিত্র ৪১ দেখ। D হইল এক চাঙড় বরফ। ইহার উপরিভাগ ও নিম্নভাগ সমতলবিশিষ্ট। চাঙড়টির কেন্দ্রস্থলে একটি চোঙাকৃতি গর্ত (C) করা আছে। এই চোঙাকৃতি বরফঘরটি ক্যালরিমিটারের কাজ করে। গর্তটির মুখ আর-একখানি বরফের ঢাক্না (A) দিয়া বন্ধ করিয়া দেওয়া যায়। বরফ তাপের কুপরিবাহী বলিয়া ঢাক্না দেওয়া থাকিলে

বরফঘরের মধ্যস্থ স্থানের সহিত পারিপার্শ্বিক বায়ুর তাপের আদানপ্রদান হইতে পারে না। একটি ধাতব বল (A) (আপেক্ষিক তাপ s) সহায়ক কঠিন পদার্থ হিসাবে, নেওয়া হয়। প্রথমে বলটিকে তুলাযন্ত্রে ওজন করিয়া উহার ভর (w গ্রাম) নির্ণয় করা হয়। ইহার পর বলটিকে হিপ্সোমিটারের মধ্যে রাখিয়া উহাকে স্টীমের স্থির উষ্ণতায় আনা হয়। মনে কর যে, এই স্থির উষ্ণতা $= t°$ সে.। ঢাক্‌না A সরাইয়া গর্তের মধ্যস্থ সবটুকু জল একখণ্ড স্পঞ্জের সাহায্যে শুষিয়া লইয়া গর্তটিকে প্রথমতঃ সম্পূর্ণ শুষ্ক করিয়া ফেলা হয়। ইহার পর উত্তপ্ত বলটিকে গর্তের মধ্যে রাখিয়া গর্তটির খোলা মুখ বরফের ঢাক্‌নাটির দ্বারা তাড়াতাড়ি বন্ধ করিয়া দেওয়া হয়।

বলটির উষ্ণতা 0° সে.তে না নামা পর্যন্ত উহা গর্তের মধ্যে বরফ গলাইতে থাকিবে। কয়েক মিনিট পরে ঢাক্‌নাটি সরাইয়া নিয়া বরফ-গলা জল একটি পিপেটের সাহায্যে সংগ্রহ করিয়া ঐ জলের ভর (m গ্রাম) ওজন করিয়া নির্ণয় করা হয়।

আংকিক হিসাব।—বল কর্তৃক ত্যক্ত তাপ $= w \times s \times (t-0)$ ক্যালরি।

0° সে.তে বরফ-গলনকালে বরফ কর্তৃক লব্ধতাপ $= mL$।

লব্ধতাপ = ত্যক্ততাপ, এই নীতি অনুযায়ী, $mL = wst$;

$$\therefore \quad L = \frac{w\,s.t}{m}, \text{ ক্যালরি, প্রতি গ্রামে।}$$

দ্রষ্টব্য : লীন (বা গুপ্ত) তাপ Lএর মান জানা থাকিলে এই পদ্ধতির সাহায্যে বলটির আপেক্ষিক তাপ s নির্ণয় করা যায়।

মন্তব্য : বরফ-ক্যালরিমিটারটির প্রারম্ভিক উষ্ণতা সঠিক 0° সে. না হইলে উপরোক্ত হিসাব প্রযোজ্য হইবে না। দ্বিতীয়তঃ, বরফ-গলা জলের সবটুকু সংগ্রহ করা সম্ভব হয় না। তাই আপাতদৃষ্টিতে বেশ সরল মনে হইলেও পরীক্ষাটিকে সুসম্পন্ন করা কঠিন। অবশ্য Lএর একটা মোটামুটি মান এই পদ্ধতিতে নির্ণয় করা যাইতে পারে।

৭২। দ্রবণের জমাটবাঁধার তাপাঙ্ক : ইউটেক্‌টিক্ মিশ্রণ (Freezing point of a solution : Eutectic mixture) :—

বিশুদ্ধ তরল পদার্থে কোন কঠিন পদার্থ গুলিয়া দিলে উহাকে আমরা **দ্রবণ** বলি। দ্রবীভূত পদার্থকে **দ্রাব** বলা হয়। যে তরল পদার্থে দ্রাব দ্রবীভূত হয় তাহাকে **দ্রাবক** বলে। বিশুদ্ধ দ্রাবক অপেক্ষা দ্রবণের জমাটবাঁধার তাপাঙ্ক সর্বদাই কম হয়। দৃষ্টান্তস্বরূপ

বলা যায় যে, বিশুদ্ধ জল 0° সে.তে জমাট বাঁধে, কিন্তু সাধারণ লবণ-সংপৃক্ত (saturated with salt) জলীয় দ্রবণ জমাট বাঁধে −2° সে.তে। দ্রবণের ক্ষেত্রে জমাটবাঁধার তাপাঙ্কের হ্রাস দ্রাব পদার্থের আণবিক ভারের সহিত বিশেষ সম্পর্কান্বিত। ভৌত রসায়নবিদ্যায় এই তথ্য অবলম্বন করিয়া পদার্থের আণবিক ভার নির্ণয় করা হয়।

সাধারণ লবণাক্ত দ্রবণ ধীরে ধীরে ঠাণ্ডা করিলে −3° সে. হইতে −4° সে.এর মধ্যে উহার কিছু কিছু জল বরফে পরিণত হইয়া পৃথক হইয়া যাইতে থাকে। ইহার ফলে দ্রবণের গাঢ়তা বাড়িয়া যায়। দ্রবণটিকে ক্রমে আরও ঠাণ্ডা করিতে থাকিলে −23° সে. উষ্ণতায় না নামা পর্যন্ত কিছু কিছু জল বরফে পরিণত হইয়া পৃথক হইয়া যাইতে থাকিবে। ইহার অধিক ঠাণ্ডা করিলে অবশিষ্ট দ্রবণ সমগ্রভাবে জমাট বাঁধিবে এবং ইহাতে শতকরা 23·6 ভাগ লবণ থাকিবে।

যে উষ্ণতায় দ্রাব ও দ্রাবক পৃথক না হইয়া সমগ্র দ্রবণ জমাট বাঁধে তাহাকে ইউটেক্‌টিক্ উষ্ণতা (eutectic temperature) বলা হয় এবং ঐ কঠিন মিশ্রণকে **ইউটেক্‌টিক্ মিশ্রণ** (eutectic mixture) বলা হয়।

৭৩। **হিমমিশ্র** (Freezing mixture) :—বরফের (টুক্‌রা টুক্‌রা করা বা চূর্ণ করা) সহিত লবণ মিশাইলে কিছু লবণ দ্রবীভূত হয়। লবণ কর্তৃক বরফ হইতে কিছুটা তাপ শোষিত হয় বলিয়া এইরূপ হয়। দ্রবণের তাপ সরবরাহের ফলে বরফ-লবণের মিশ্রণ 0° সে. অপেক্ষাও নিম্ন উষ্ণতা প্রাপ্ত হয়। এইরূপ মিশ্রণকে হিমমিশ্র বলা হয়। বরফলবণ-জাতীয় হিমমিশ্র* সাধারণতঃ মৎস্য-সংরক্ষণের কাজে সর্বদা ব্যাপকভাবে ব্যবহৃত হয়।

কিছু লবণ দ্রবীভূত হওয়ায় হিমমিশ্রের উষ্ণতা 0° সে.এর নীচে নামিয়া যায়। দ্রবীভূত লবণের জন্য দ্রবণের মধ্যে 'দ্রবণচাপ' (solution pressure) বলিয়া কথিত এক আভ্যন্তরীণ চাপ উৎপন্ন হয়। এই চাপের ফলে আরও কিছু বরফ গলিয়া যায় এবং আরও কিছু লবণ দ্রবীভূত হইয়া মিশ্রণ হইতে আরও তাপ শোষণ করিয়া লয়। এইভাবে শেষ পর্যন্ত মিশ্রণটি এক উষ্ণতাসাম্যের (temperature equilibrium) অবস্থায় উপনীত হয়। এই সাম্যাবস্থায় দ্রাব দ্রাবক হইতে যে হারে তাপ

---

* এই তাপমাত্রায় মৎস্য তাড়াতাড়ি পচিতে পারে না; আবহাওয়ার সাধারণ তাপমাত্রায় মাছ অনেক বেশী তাড়াতাড়ি পচে।

শোষণ করে বাহিরের বায়ু হইতে ঠিক ঐ হারেই তাপ হিমমিশ্রে প্রবেশ করে এই সাম্যাবস্থার উষ্ণতাই কোন হিমমিশ্রের নিম্নতম উষ্ণতা।

হিমমিশ্রের কয়েকটি দৃষ্টান্ত

উপাদানসমূহ	ভরের অনুপাত	উষ্ণতা
অ্যামোনিয়াম নাইট্রেট ও বরফ	1 : 1	−17·4° সে.
বরফচূর্ণ ও সাধারণ লবণ	10 : 1	− 22° সে.
স্ফটিকাকার ক্যালসিয়াম ক্লোরাইড চূর্ণ এবং বরফ	5 : 1	− 35° সে.
কঠিন কার্বন ডাই-অক্সাইড ও ইথার	4 : 1	− 77° সে.

তরল পদার্থ কঠিনীভূত হইলে তাপ ত্যাগ করে। তুষার পড়িতে থাকিলে বায়ুমণ্ডলের জলীয় বাষ্প তুষারে পরিবর্তিত হয় ও ঐ অবস্থান্তরের তাপে বায়ু উষ্ণ হইয়া উঠিয়াছে বোধ হয়।

Examples

1. *A lump of iron (sp. heat = 0·112) weighing 20 gms. has been placed in a copper can (sp. heat = 0·1) containing 100 gms. of water and the common temperature is 20°C. If the mass of the calorimeter is 200 gms., what is the minimum quantity of ice which has to be added for a common temperature of 0°C. to be attained? Assume latent heat of fusion of ice to be 80 calories per gm.*

উত্তর : প্রয়োজনীয় বরফের পরিমাণ x গ্রাম হইলে, 0° সে.তে গলিত বরফ কর্তৃক শোষিত তাপ $= x \times 80$ ক্যালরি।

20° সে. হইতে 0° সে.তে আসিতে লৌহকর্তৃক ত্যক্ত তাপ $= 20 \times 0{\cdot}112 \times (20-0) = 44{\cdot}8$ ক্যালরি।

ঐ উষ্ণতাহ্রাসে ক্যালরিমিটার কর্তৃক ত্যক্ত তাপ $= 200 \times 0{\cdot}1 \times (20-0) = 400$ ক্যালরি।

ঐ উষ্ণতাহ্রাসে ক্যালরিমিটারের জল কর্তৃক ত্যক্ত তাপ $= 100 \times 1 \times (20-0) = 2000$ ক্যালরি।

$\therefore$ ক্যালরিমিটার, জল ও লৌহ কর্তৃক ত্যক্ত মোট তাপ $= 2444{\cdot}8$ ক্যালরি।

লব্ধ তাপ = ত্যক্ত তাপ, সুতরাং, $80x = 2444{\cdot}8$; বা, $x = 30{\cdot}56$ গ্রাম।

2. *In an experiment on the determination of the latent heat of ice by the method of mixture the following data are obtained.— Weight of calorimeter = 60 gms.; wt. of calorimeter and water = 460 gms.; temperature of water before mixture = 38°C.; final temperature after mixture = 5°C.; wt. of calorimeter and mixture = 618 gms.; sp. heat of calorimeter = 0·1. Find the latent heat of fusion of ice.*

উত্তর : মনে কর যে, বিরের লীন তাপ $=L$ ক্যালরি, প্রতি গ্রামে। জলের ভর $=460-60=400$ গ্রাম; মিশ্রিত বরফের ভর $=618-460=158$ গ্রাম; মিশ্রণের উষ্ণতার পরিবর্তন $=38-5=33°$ সে.।

ক্যালরিমিটার ও জল কর্তৃক ত্যক্ত তাপ $=\{60\times0{\cdot}1\times(38-5)\}+\{400\times1\times(38-5)\}$ ক্যালরি।

158 গ্রাম বরফের গলন দ্বারা লব্ধ লীন তাপ $=158L$ ক্যালরি; 0° সে. হইতে 5° সে.তে উঠিতে বরফ-গলা জল কর্তৃক লব্ধ তাপ $=158\times1\times(5-0)=790$ ক্যালরি।

লব্ধ তাপ = ত্যক্ত তাপ, সূত্রানুযায়ী, $60\times0{\cdot}1\times33+400\times33=158L+158\times5$; বা, $L=79{\cdot}8$ ক্যালরি, প্রতি গ্রামে।

3. *What is the resulting temperature of the mixture when 5 gms. of ice at 10°C. are mixed up with 20 gms. of water at 30°C.? Sp. heat of ice = 0·5 and latent heat of fusion of ice = 80 calories per gm.*

উত্তর : মিশ্রণের সাধারণ উষ্ণতা $=t°$ সে. হইলে, বরফ ও বরফ-গলা জল কর্তৃক লব্ধ তাপ = ব্যক্ত তাপ + লীন তাপ + ব্যক্ত তাপ $=5\times0{\cdot}5\times(\{0-(-10\})+5\times80+5\times1\times(t-0)$ ক্যালরি।

জল কর্তৃক ত্যক্ত তাপ $=20\times1\times(30-t)$ ক্যালরি।

লব্ধ তাপ = ত্যক্ত তাপ, সূত্রানুযায়ী, $5\times0{\cdot}5\times10+5\times80+5t=20\times(30-t)$; বা, $t=7°$ সে.।

4. *Find the result of mixing 10 gms. of ice at −10°C. and 10 gms. of water at 60°C. (sp. heat of ice = 0·5 and latent heat of fusion of ice = 80 calories per gm.).*

উত্তর : −10° সে. হইতে 0° সে.তে আসিতে বরফ কর্তৃক লব্ধ তাপ $=10\times0{\cdot}5\times[0-(-10)]=50$ ক্যালরি।

0° সে. এর বরফ 0° সে. এর জলে পরিণত হইতে প্রয়োজনীয় লীন তাপ $=10\times80=800$ ক্যালরি।

অর্থাৎ, −10° সে.এর 10 গ্রাম বরফ 0° সে.এর 10 গ্রাম জলে পরিণত হইতে তাপ লাগিবে $800+50=850$ ক্যালরি।

প্রদত্ত জল 0° সে.তে নামিয়া আসিতে এই পরিমাণ তাপ দিতে পারে কি-না দেখা যাক্‌। এই তাপের পরিমাণ $=10\times1\times(60-0)=600$ ক্যালরি মাত্র। স্পষ্টতঃ তাহা হইলে, সবটুকু বরফ গলিতে পারে না। বরফ 0° সে.তে আসিতে জল কর্তৃক ত্যক্ত তাপের 50 ক্যালরি ব্যয় হইয়া যাইবে। বাকি

থাকিবে 600−50=550 ক্যালরি। এই অবশিষ্ট তাপে যেটুকু বরফ (0° সে.-এর) গলিয়া জল (0° সে-এর) হইতে পারে তাহার পরিমাণ $=\frac{550}{80}=6\frac{7}{৮}$ গ্রাম।

অতএব মিশ্রণের সাধারণ উষ্ণতা হইবে 0° সে. ; মিশ্রণটিতে অগলিত বরফ (0° সে. এর) থাকিবে $10-6\frac{7}{৮}=3\frac{1}{৮}$ গ্রাম এবং জল (0° সে. তে) থাকিবে $10+6\frac{7}{৮}=16\frac{7}{৮}$ গ্রাম।

Exercises

1. Define the melting point of a substance. Show generally how the temperature increases when a crystalline substance is gradually heated from solid state to liquid state. Are the melting and solidifying points of such substances the same ? Explain what you mean by the 'viscous state'.

2. Write notes on, (i) supercooling, (ii) melting points of alloys, and (iii) sublimation.

3. Describe a simple experiment to show that temperature of a substance remains constant when melting, and also when freezing.

4. Why do water pipes sometimes burst during hard winter ?

5. Discuss how the volumes of copper and ice change during melting and solidifying. Why does ice float on water ?

6. Explain the cooling curve method of determining the melting point of napthalene.

7. Two pieces of ice when pressed together form one block. Explain why.

8. A weighted copper wire cuts through a slab of ice better than twine. Why ?

9. Explain how by Mousson's apparatus the effect of pressure on the melting point of ice can be shown.

10. Explain what you understand by sensible heat and latent heat of fusion. What do you mean by the statement that the latent heat of ice is 80 ?

11. Find the value of the latent heat of fusion of ice in lb.-degree-Fahrenheit units if its value in gm.-degree-centigrade units is 80.

12. Describe a simple experiment by which the reality of latent heat can be tested.

13. A copper calorimeter of mass 100 gms. and sp. heat 0·1 contains 250 gms. of a liquid of sp. heat 0·4 at a temperature 30°*C*. 16 gms. of pure ice at 0°*C*, are dropped into the liquid. Find the resulting temperature. Latent heat of ice = 80 calories per-gm. **উত্তর :** 16·03° সে.।

14. Find the rise in temperature when 35 gms. of liquid sulphur at its melting point is poured into a copper calorimeter weighing 40 gms. and containing 100 gms. of water at 14°*C*, Given, sp. heat of copper=0·1 ; sp. heat of sulphur=0·17 ; L. H. of sulphur=9 cals. per. gm. ; melting point of sulphur=113°*C*. **উত্তর :** 22·2° সে.।

15. Find the result of mixing 3 lbs. of water at 45°C with 2 lbs. of ice at 0°C.

উত্তর : 0° সে. উষ্ণতায় 4·69 পাউণ্ড জল এবং 0° সে. উষ্ণতায় 0·31 পাউণ্ড বরফ।

16. Show how by using a black's ice-calorimeter the sp. heat of a piece of brass can be roughly determined.

17. Write a note on the freezing point of a solution. What is an eutectic mixture ?

18. What is a freezing mixture ? Explain its theory.

ষষ্ঠ পরিচ্ছেদ (পূর্বানুবৃত্তি)

উচ্চ অবস্থান্তর

(The Higher Change of State)

বাষ্পীভবন ও ঘনীভবন (Vaporisation and Condensation) :

বাষ্পায়ন ও স্ফুটন (Evaporation and Boiling) :

বাষ্পীভবনের গুপ্ত বা লীন তাপ (Latent Heat of Vaporisation)

৭৪। **উচ্চ অবস্থান্তর :**—কোন পদার্থ তরল অবস্থা হইতে বাষ্পীয় অবস্থায় পরিবর্তিত হইলে ঐ প্রক্রিয়াকে বাষ্পীভবন বলা হয়। বাষ্প হইতে তরলে পরিবর্তিত হইবার বিপরীত প্রক্রিয়াকে ঘনীভবন বলা হয়। ইহার যে-কোন একটি প্রক্রিয়াকে উচ্চ অবস্থান্তর আখ্যা দেওয়া যায়।

৭৫। **বাষ্পায়ন ও স্ফুটন** (Evaporation and Boiling) :—কোন তরল পদার্থ দুই রকমে বাষ্পে পরিণত হইতে পারে, যথা (১) বাষ্পায়ন, এবং (২) স্ফুটন। বাষ্পায়ন হয় তরল পদার্থের মুক্ত তল হইতে সকল উষ্ণতাতেই ধীরে ধীরে। স্ফুটনে কিন্তু সমগ্র তরল পদার্থ ব্যাপিয়া বুদ্বুদাকারে অতি দ্রুতভাবে বাষ্প নির্গত হইতে থাকে। কোন নির্দিষ্ট চাপে কোন নির্দিষ্ট তরল পদার্থের স্ফুটন সর্বদা একই উষ্ণতায় ঘটিবে। উপরিস্থ চাপ বদলাইলে অবশ্য স্ফুটনাঙ্ক বদলাইবে। উপরিস্থ পরিমণ্ডলের চাপ পারদের 760 মি.মি. হইলে যে উষ্ণতায় কোন তরল পদার্থের স্ফুটন ঘটে উহাকে উক্ত তরল

পদার্থের স্বাভাবিক স্ফুটনাঙ্ক বা শুধু স্ফুটনাঙ্ক বলা হয়। স্বাভাবিক স্ফুটনাঙ্ক কোন পদার্থের নিজস্ব বৈশিষ্ট্য-সূচক একটি নিত্য গুণ।

তাই উচ্চ অবস্থান্তর ঘটনের বেলা কোন তরল পদার্থের স্ফুটনাঙ্কে সমগ্র তরলব্যাপী যে দ্রুত ও প্রবল বাষ্পীভবন হয় কেবল মাত্র ঐ কথা বিবেচনা করিলেই চলিবে না, তরলের মুক্ত তল হইতে অবিরামভাবে অপেক্ষাকৃত ধীর গতিতে নিঃশব্দে যে বাষ্পায়ন হয় তাহাও বিবেচনা করিতে হইবে।

বাষ্পায়নের সাহায্যে বাষ্পীভবনের প্রমাণ (Evidence of vaporisation by evaporation).—কোন পাত্রে কিছু জল রাখিলে কিছু সময় পরে ঐ জল অদৃশ্য হইয়া যায়। কোথায় যায়? ঐ জল অদৃশ্য বাষ্পে পরিণত হইয়া পরিমণ্ডলের বায়ুতে মিশিয়া যায়। সাধারণ উষ্ণতায় যে সকল তরল পদার্থ অপেক্ষাকৃত দ্রুত এই পরিবর্তনের অধীন হয় উহাদিগকে 'উদ্বায়ী তরল পদার্থ' (volatile liquid) বলা হয়।

কোহল, মেথিলেটেড্ স্পিরিট, বেন্‌জিন, কার্বন টেট্রাক্লোরাইড, ঈথার, পেট্রোল ইত্যাদিকে উদ্বায়ী তরল পদার্থ বলা হয়। কোন গন্ধযুক্ত তরল পদার্থ মুক্ত অবস্থায় থাকিলে বাষ্পায়ন ক্রিয়ায় বাষ্পে পরিণত হইয়া উহা গন্ধ বিতরণ করে। যে সকল তরল পদার্থকে উদ্বায়ী বলা হয় না তাহাদের ক্ষেত্রে বাষ্পায়ন ঘটে না এমন নহে, তবে সে সব ক্ষেত্রে বাষ্পায়ন হয় অতি ধীরে ধীরে অল্প পরিমাণে।

বাষ্পায়ন সকল উষ্ণতাতেই ঘটে এবং তরলের মুক্ত তল হইতে সম্পন্ন হয়। বাষ্পায়নের হার কিন্তু সকল উষ্ণতায় সমান নয়। উষ্ণতা বৃদ্ধি পাইলে বাষ্পায়নের হার বৃদ্ধি পায়। একটি জলপূর্ণ পাত্র রৌদ্রে রাখিয়া দিলে উহার জল অনেক তাড়াতাড়ি শুকাইয়া যায়। উষ্ণতা স্ফুটনাঙ্কের যত নিকটবর্তী হইবে বাষ্পায়নের হারও তত দ্রুত বাড়িতে থাকিবে।

স্ফুটনের সাহায্যে বাষ্পীভবন (Vaporisation by boiling).—তরল পদার্থের উষ্ণতা বাড়িতে বাড়িতে এক সময় উহাতে বিন্দু বিন্দু বাষ্প দেখা দেয়। তরলের মধ্যে তাপকের (heater) পৃষ্ঠে কয়েকটি স্থানে এই বাষ্পবিন্দুগুলি সর্বপ্রথম সৃষ্ট হয়। বাষ্পবিন্দুগুলির আকার ক্রমে বাড়ে। অবশেষে ইহারা নোঙর ছিঁড়িয়া তরল পদার্থের মুক্ত তল অভিমুখে উত্থিত হইতে থাকে এবং একপ্রকার 'গীতধ্বনি' তুলিয়া সশব্দে ভাঙিয়া পড়ে। উষ্ণতা আরও বৃদ্ধি পাইলে আরও বহু স্থানে এই বাষ্প-বুদ্বুদগুলি জন্মে এবং পরিমিত আকার লাভ করিলে নোঙর ছিঁড়িয়া উর্ধ্বমুখে যাত্রা করে এবং মুক্ত তলে পৌছায় এবং শেষ পর্যন্ত উপরিস্থ দেশে (space) অদৃশ্য হইয়া যায়। বুদ্বুদের সাহায্যে বাষ্পীভবনের এই প্রক্রিয়াকে স্ফুটন বলা হয়।

স্ফুটনের আরম্ভ হইতে শেষ পর্যন্ত (উপরিস্থ চাপ না বদলাইলে) তরল পদার্থের উষ্ণতা অপরিবর্তিত থাকে। এক বায়ুমণ্ডল চাপে কোন তরল পদার্থ যে উষ্ণতায় ফুটিতে থাকে ঐ উষ্ণতাকে ঐ তরল পদার্থের স্বাভাবিক স্ফুটনাঙ্ক বলা হয়।

স্ফুটনের সময়ে তরল পদার্থ অবিরাম তাপ শোষণ করিতে থাকে। স্ফুটনাঙ্কে থাকিয়া একক ভরের তরল পদার্থ বাষ্পে পরিণত হইতে যে তাপ শোষণ করে উহাকে ঐ তরল পদার্থের বাষ্পীভবনের গুপ্ত বা লীন তাপ বলা হয়। বাষ্পীভবনে তরলের উষ্ণতার কোন পরিবর্তন হয় না অথচ উহা দ্বারা তাপ শোষিত হয়, তাই এইরূপ শোষিত তাপকে গুপ্ত বা লীন তাপ বলা হয়।

৯৬। (ক) তরল পদার্থের বাষ্পায়ন-নিয়ন্ত্রক উৎপাদকসমূহ (Factors governing evaporation of a liquid):—

(১) উষ্ণতা—তরল পদার্থের উষ্ণতা বাড়িলে বাষ্পায়নের হার বৃদ্ধি পায়।

(২) তরল পদার্থের প্রকৃতি—কোন তরল পদার্থের স্ফুটনাঙ্ক যত কম হইবে সাধারণ উষ্ণতায় উহার বাষ্পায়নের হার তত অধিক হইবে।

(৩) তরলের উপরিস্থ বায়ুর অবস্থা—তরলের উপরিস্থ বায়ু ক্রমাগত বদলাইয়া দিতে পারিলে দ্রুত বাষ্পায়ন হয়। এইজন্যই বাতাস বহিলে কাপড় চোপড় তাড়াতাড়ি শুকায়।

(৪) উপরিস্থ চাপ—তরল পদার্থের উপরিস্থ চাপ যত কম হয় বাষ্পায়নের হার তত অধিক হয়। চাপ কমিলে স্ফুটনাঙ্কও কমিয়া যায়। শূন্যে বাষ্পায়নের হার হয় সর্বোচ্চ। রাসায়নিক কারখানায় দ্রবণ হইতে নির্যাস প্রস্তুত করিবার জন্য খুব অল্প চাপে বাষ্পায়ন (drying in vacuum) করিবার পদ্ধতি ব্যবহার করা হয়।

(৫) মুক্ত তলের ক্ষেত্রফল—বাষ্পায়ন মুক্ত তল হইতে হয় বলিয়া তরল পদার্থের মুক্ত তলের ক্ষেত্রফল যত অধিক হয় বাষ্পায়নও তত অধিক হয়। চা প্লেটে ঢালিয়া নিলে তাড়াতাড়ি ঠাণ্ডা হয়। মুক্ত তলের ক্ষেত্রফল বৃদ্ধি পায় বলিয়া এইরূপ হয়।

(৬) তরল পদার্থের উপরিস্থ আপন বাষ্পের চাপ—তরল পদার্থের মুক্ত তলের সংস্পর্শে সর্বদাই ঐ পদার্থের বাষ্প থাকে। এই বাষ্প জমিয়া চাপ যত বাড়ে বাষ্পায়নের হার তত কমে। এইজন্যই শীতকাল অপেক্ষা বর্ষাকালে ভিজা কাপড় দেরিতে শুকায়। তাই শীতকালে বায়ুতে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ কম থাকে এবং বাষ্পের চাপও কম থাকে।

(খ) তরল পদার্থের স্ফুটন-নিয়ন্ত্রক উৎপাদকসমূহ (Factors governing the boiling of a liquid).—

(১) উপরিস্থ চাপ কমিলে বা বাড়িলে স্ফুটনাঙ্ক যথাক্রমে কমে বা বাড়ে।

(২) তরল পদার্থে কোন দ্রাব দ্রবীভূত থাকিলে স্ফুটনাঙ্ক বৃদ্ধি পায়। এইজন্য কোন দ্রবণের স্ফুটনাঙ্ক সর্বদাই বিশুদ্ধ দ্রাবকটির স্ফুটনাঙ্ক অপেক্ষা অধিক হয়।

(৩) স্ফুটনের দ্রুততা তাপক পাত্রের গাত্রের ভৌত অবস্থা (physical nature), পরিচ্ছন্নতা (freedom from imurity) এবং পূর্বের ইতিহাসের (past history) উপরও নির্ভর করে।

৭৭। **বাষ্পায়ন ও স্ফুটনের পার্থক্য** (Distinction between evaporation and boiling) :—বাষ্পায়ন একটি ধীরগতি নিঃশব্দ বাষ্পীভবন প্রক্রিয়া যে-কোন উষ্ণতাতেই তরল পদার্থের মুক্ত তল হইতে বাষ্পায়নের সাহায্যে বাষ্পাভবন নিষ্পন্ন হয়। উষ্ণতাবৃদ্ধিতে বাষ্পীভবনের হার বাড়ে। বাষ্পায়নে সমগ্র তরল পদার্থ আলোড়িত হয় না।

স্ফুটন একটি দ্রুত ও সশব্দ বাষ্পীভবন প্রক্রিয়া। নির্দিষ্ট চাপে স্ফুটন কোন নির্দিষ্ট উষ্ণতায় ঘটে। স্ফুটন আরম্ভ হইলে সমগ্র তরল পদার্থ বাষ্পে পরিণত না হওয়া পর্যন্ত তরলের উষ্ণতার কোন পরিবর্তন ঘটে না। স্ফুটনে তরল পদার্থের সকল অংশ আলোড়িত হয়, তাপক পাত্রের গাত্রে সংলগ্ন তরল স্তরে বাষ্পবুদ্বুদ সৃষ্টি হয় এবং ঐ বুদ্বুদ তরলের মধ্য দিয়া উর্ধ্বে উত্থিত হইবার কালে তরল পদার্থকে আলোড়িত করে—এই আলোড়নের ফলে বাষ্পবুদ্বুদগুলি তাপক গাত্র হইতে সহজেই বিচ্যুত হইতে পারে।

৭৮। **বাষ্পায়নের ফলে তরল পদার্থের উষ্ণতা-হ্রাস** (Cooling caused by evaporation) :—বাষ্পায়নের জন্য লীন তাপ প্রয়োজন। ঐ প্রয়োজনীয় তাপ শোষিত হয় তরল পদার্থ হইতে। তাই তাপ অপহৃত হওয়ার ফলে বাষ্পায়নের কালে তরল পদার্থ ক্রমে ঠাণ্ডা হয়। বাষ্পায়নজনিত শৈত্যের কয়েকটি দৃষ্টান্ত নিম্নে দেওয়া হইল।

(ক) **ভিজা গায়ে বাতাস লাগানোর ফল**.—ভিজা গায়ে বাতাস লাগিলে শীত বোধ হয়। ইহার কারণ এই যে, গাত্রের জল দ্রুত বাষ্পে পরিণত হইয়া প্রয়োজনীয় লীন তাপ শরীর হইতে শোষণ করিয়া নেয়। ইহাতে আমরা শীত বোধ করি।

(খ) **জলসিক্ত খস্‌খসের মধ্য দিয়া প্রবাহিত বায়ু**.—খস্‌খস্ জলে ভিজানো থাকে। খস্‌খসের মধ্য দিয়া বায়ু বহিলে খস্‌খসের ঐ জল উষ্ণ বায়ুর সংস্পর্শে আসিয়া বাষ্পে

পরিণত হয়। বাষ্পায়নের জন্য প্রয়োজনীয় লীন তাপ ঐ গরম বায়ু হইতে শোষিত হওয়ায় বায়ু ঠাণ্ডা হয় ও ঘর শীতল হয়।

(গ) গ্রীষ্মকালে রাস্তায় জল দিবার কারণ—ইহার ফলে ভাসমান ধূলি রাস্তায় পড়ে এবং জলের বাষ্পায়নের ফলে রাস্তা ও উহার উপরিস্থ বায়ুমণ্ডল শীতল হয়।

(ঘ) গ্রীষ্মকালে কুকুর জিহ্বা বাহির করিয়া মুখ দ্বারা শ্বাস নিয়া শরীর জুড়ায়.—জিহ্বা বিস্তৃত করায় বাষ্পায়নের ক্ষেত্র বাড়ে এবং উহা হইতে বেশি জলীয় পদার্থের বাষ্পায়ন হয়। বাষ্পায়নের জন্য প্রয়োজনীয় লীন তাপ তপ্ত জিহ্বা হইতে আসে। ইহাতে শরীর জুড়ায় এবং কুকুর আরাম বোধ করে।

(ঙ) পাখার হাওয়ায় শরীর শীতল করা.—লোমকূপ হইতে নির্গত জল গাত্রে জমা হইলে আমরা উহাকে ঘাম বলি। সংলগ্ন বায়ু স্থির থাকিলে ঐ জল তাড়াতাড়ি বাষ্পীভূত হয় না। জলস্তরের মধ্য দিয়া শরীরের তাপ উপযুক্ত পরিমাণে নির্গত হইতে পারে না, কারণ জল তাপের মন্দ পরিবাহক। উপরিস্থ বায়ু স্থির থাকিলে ঘর্ম হইতে যে জল বাষ্পীভূত হয় তাহাও শরীরকে ঘিরিয়া থাকে। ইহাতে আমরা অস্বস্তি বোধ করি। পাখা ঘুরাইয়া হাওয়া সৃষ্টি করিলে বাষ্পসংস্পৃক্ত বায়ুর স্থলে নূতন বায়ু পাওয়া যায়, উহাতে বাষ্পীভবন দ্রুত হয়। বাষ্পীভবনের লীন তাপ শরীর হইতে শোষিত হয়। বায়ুসঞ্চালনের ফলে জলের মধ্য দিয়া পরিবাহিত তাপও তাড়াতাড়ি শরীর হইতে নির্গত হয়। শরীর শীতল হওয়ার এইগুলিই কারণ।

(চ) ইথার, কোহল ইত্যাদির সাহায্যে শীতলীকরণ.—কোন থার্মোমিটারের বাল্‌বের উপর মস্‌লিন জড়াইয়া উহার উপর কোন উদ্বায়ী তরল পদার্থ ঢালিয়া দিলে থার্মোমিটারের উষ্ণতা দ্রুত হ্রাস পায়। এই সব নিম্ন স্ফুটনাঙ্কবিশিষ্ট তরল পদার্থ সাধারণ উষ্ণতাতেই বেশ দ্রুত বাষ্পে পরিণত হয়। প্রয়োজনীয় লীন তাপ থার্মোমিটারের বাল্‌ব হইতে শোষিত হয় এবং বাল্‌বের উষ্ণতা দ্রুত হ্রাস পায়।

(ছ) কাঁচের ফ্লাস্কের জল অপেক্ষা বেলে মাটির কুঁজার জল বেশি ঠাণ্ডা থাকে.—কাঁচের ফ্লাস্কের গাত্রে ছিদ্র নাই, তাই উহার মধ্যে জল রাখিলে ঐ জলের মুক্ত তলের ক্ষেত্রফল কম থাকে। বেলে মাটির কুঁজার গাত্রে অসংখ্য সূক্ষ্ম ছিদ্র বর্তমান। জলের মুক্ত তল তাই খুব বিস্তৃত। এই বিস্তৃত তল হইতে বাষ্পীভবন বেশি হইতে পারে এবং ঐ ক্রিয়ায় বেশি পরিমাণ লীন তাপ জল হইতে বহির্গত হয়। তাই কুঁজার জল বেশি ঠাণ্ডা হয়।

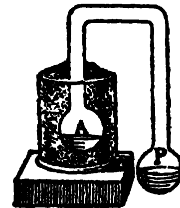
৭৯। বাষ্পীয়নের শোষিত তাপসংক্রান্ত কয়েকটি পরীক্ষা :—

(ক) তামার পাত্র ও কাঠের ব্লকের পরীক্ষা.—একটি কাঠের ব্লকের উপর কয়েক ফোঁটা জল রাখিয়া উহার উপরে একটি তামার পাত্র রাখ। ঐ পাত্রের মধ্যে কিছু ইথার রাখিয়া উহাতে ফুঁ দিয়া বায়ু সঞ্চালিত করিতে থাক। ইহাতে ইথার দ্রুত বাষ্পে পরিণত হইবে। বাষ্পায়নের জন্য প্রয়োজনীয় লীন তাপ তামার পাত্র ও উহার নিম্নস্থ জল হইতে শোষিত হইবে এবং ঐ জল জমিয়া বরফ হইয়া যাইবে। ফলে দেখিবে তামার পাত্রটি কাঠের ব্লকটির সহিত আটকাইয়া যাইবে।

(খ) লেস্‌লি (Leslie)-র পরীক্ষা.—একটি ছড়ানো পাত্রে কিছু জল এবং আর-একটি ছড়ানো পাত্রে ঘন সলফিউরিক অ্যাসিড লও। উভয় পাত্রই একটি শোষক পাম্পের রিসিভারের (receiver) তলায় পাশাপাশি বসাইয়া দাও। পাম্প চালাইলে দেখিবে জলের উপর বরফের একটি আস্তরণ পড়িয়াছে। ইহা লেস্‌লির পরীক্ষা নামে খ্যাত।

পাম্প চালানোর ফলে চাপ যত কমিবে জল তত দ্রুত বাষ্পে পরিণত হইবে এবং ঐ বাষ্প ঘন সালফিউরিক অ্যাসিড দ্বারা শোষিত হইবে। বাষ্পীভবনের জন্য প্রয়োজনীয় লীন তাপ জল হইতে আসিবে বলিয়া জল ঠাণ্ডা হইতে হইতে অবশেষে উহার উপর একটি ক্ষীণ বরফের আস্তরণের সৃষ্টি হইবে।

(গ) ওলাস্টনের ক্রায়োফোরাস্‌ (Wollaston's cryophorus).—চিত্র ৪২এ এই যন্ত্র দেখান হইয়াছে। দুই বার একই দিকে সমকোণে বাঁকানো একটি নলের দুই প্রান্তে দুইটি বাল্‌ব আছে। ইহাদের ভিতরে কিছু জল আছে কিন্তু পাম্প করিয়া বায়ু প্রায় নিঃশেষ করিয়া বাহির করিয়া দেওয়া হইয়াছে। মনে কর, P বাল্‌বে সবটুকু জলই নিয়া আসা হইল এবং A বাল্‌টি হিম-মিশ্রের মধ্যে রাখিয়া দেওয়া হইল। কিছুক্ষণ পরে দেখিবে Pর মধ্যস্থ জল জমিয়া বরফ হইয়া গিয়াছে।

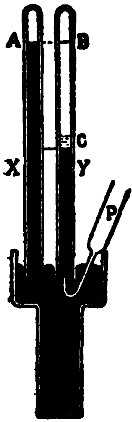


চিত্র ৪২—ওলাস্টনের ক্রায়োফোরাস্‌।

প্রথমে Aতে শুধু জলীয় বাষ্প থাকে। হিমমিশ্রের দ্বারা শীতল হইয়া এই বাষ্প ঘনীভূত হইয়া জলে পরিণত হয়। ফলে চাপ হ্রাস হয় বলিয়া P হইতে জল দ্রুত বাষ্পে পরিণত হয় এবং বাষ্পীভবনের লীন তাপ Pর জল হইতে শোষিত হয়। শীতল হইতে হইতে ক্রমে শেষ পর্যন্ত Pর মধ্যস্থ জল জমিয়া বরফ হইয়া যায়।

৮০। কোন তরল পদার্থের বাষ্পচাপ এবং সম্পৃক্ত বাষ্পচাপ (Vapour pressure and the saturation vapour pressure of a liquid):— সকল উষ্ণতাতেই তরল পদার্থের মুক্ত তল হইতে বাষ্প নির্গত হইতে থাকে। এই বাষ্পও গ্যাসীয় পদার্থের মত। গ্যাসীয় পদার্থের মতই ইহা যাহার সংস্পর্শে আসে তাহার উপরই চাপ দেয়। এই চাপকে নির্দিষ্ট উষ্ণতায় সংশ্লিষ্ট তরল পদার্থের বাষ্পচাপ বলা হয়।

তরল পদার্থের বাষ্পচাপ দর্শাইবার পরীক্ষা।—X ও Y এক মিটার লম্বা দুইটি ব্যারোমিটার নল (চিত্র ৪৩)। ইহাদের ব্যাস আনুমানিক 5 মিলিমিটার। নলদুইটি বিশুদ্ধ শুষ্ক পারদ দ্বারা সম্পূর্ণরূপে ভর্তি কর। বুড়া আঙুলের সাহায্যে নলদুইটির খোলা মুখ বন্ধ করিয়া উহাদিগকে উল্টাইয়া মুখদুইটি একটি ছড়ানো পাত্রের পারদের মধ্যে রাখ। এখন ক্ল্যাম্পের সাহায্যে নলদুইটিকে পাশাপাশি খাড়া করিয়া ধরিয়া রাখ। দুইটি নলের মধ্যেই পারদপৃষ্ঠ কিছুটা নামিয়া একই উচ্চতায় আসিয়া দাঁড়াইবে। X-নলের পারদপৃষ্ঠকে A দ্বারা সূচিত কর। তাহা হইলে পাত্রের পারদপৃষ্ঠ হইতে নলের মধ্যস্থ পারদপৃষ্ঠের উচ্চতা হইবে বায়ুমণ্ডলের পরীক্ষাকালীন চাপের পরিমাপ। X-নলটিকে এখানে একটি সরল ব্যারোমিটার হিসাবে ব্যবহার করা হইবে। এবার B-নলের মধ্যে একটি বক্রপিপেটের (P) সাহায্যে একটু একটু করিয়া কিছু ইথার ঢুকাইয়া দেওয়া হইল।



চিত্র ৪৩

ইথার পারদ অপেক্ষা অনেক হাল্‌কা বলিয়া নলের পারদ ঠেলিয়া উপরে উঠিবে এবং নলের টরিসেলীয় শূন্য স্থানে পৌঁছিয়া বাষ্পে পরিণত হইবে। এই বাষ্প যে চাপ দিবে তাহার ফলে Y-নলের পারদশীর্ষ নীচে নামিবে। প্রতি ফোঁটা ইথার বাষ্পে পরিণত হইলে পারদস্তম্ভ একটু নামিবে। X-নলের পারদপৃষ্ঠ হইতে Y-নলের পারদপৃষ্ঠের নিম্নতা হইল সৃষ্ট বাষ্পের চাপের পরিমাপ। দূর হইতে একটি অগ্নিশিখার (flame) সাহায্যে এই বাষ্পকে উত্তপ্ত কর, দেখিবে যে পারদশীর্ষ আরও নামিয়া যাইবে, অর্থাৎ তাপমাত্রা বাড়িলে বাষ্পের চাপ বাড়িয়া যাইবে।

সম্পৃক্ত বাষ্পের চাপ (saturation vapour pressure).—উপরোক্ত পরীক্ষার শেষের দিকে ইথারের ফোঁটাগুলি অতি ধীরে ধীরে বাষ্পে পরিণত হইবে। ইথার ঢুকানো চলিতে থাকিলে শেষ পর্যন্ত এমন এক পরিস্থিতি দেখা দিবে যে, নলের পারদপৃষ্ঠের উপরে খানিকটা ইথার জমিবে—উহা আর বাষ্পে পরিণত হইবে না। তরল ইথারের একটি

ক্ষীণ স্তর (C) দেখা দেওয়ার পরও ইথার ঢুকান হইলে পারদস্তম্ভের উচ্চতার আর-কোন পরিবর্তন ঘটিবে না, অর্থাৎ বাষ্পচাপ আর বাড়িবে না (তরল ইথারের ওজনের জন্য পারদস্তম্ভ অবশ্য একটু নীচে নামিবে)। দূর হইতে অগ্নিশিখার (flame) সাহায্যে Y-নলের টরিসেলীয় শূন্য স্থান সন্তর্পণে উত্তপ্ত করিলে আরও অধিক পরিমাণ তরল ইথার বাষ্পে পরিণত হইবে এবং পারদস্তম্ভ নামিয়া যাইবে। ইহাতে প্রমাণিত হয় যে, উষ্ণতা বাড়াইলে বাষ্পচাপ বাড়ে।

এই পরীক্ষার প্রথম অংশ হইতে প্রমাণিত হয় যে, কোন নির্দিষ্ট উষ্ণতায় কোন নির্দিষ্ট আয়তনের স্থান এক সীমিত পরিমাণ বাষ্প ধারণ করিতে পারে। কোন নির্দিষ্ট উষ্ণতার বাষ্প-চাপ সর্বোচ্চ হইলে বুঝিতে হইবে যে নির্দিষ্ট স্থানে যতটা বেশি বাষ্প ধরা যাইতে পারে ততটা বাষ্পই উহাতে আছে। এইরূপ ক্ষেত্রে উক্ত স্থান ঐ বাষ্প দ্বারা সম্পৃক্ত হইয়াছে বলা হয়। ঐ বাষ্পকে সম্পৃক্ত বাষ্প বলা হয় এবং এই অবস্থার বাষ্পের চাপকে বলা হয় সম্পৃক্ত বাষ্পচাপ। তাহা হইলে দাঁড়াইল এই যে, কোন নির্দিষ্ট উষ্ণতায় কোন বাষ্পের সর্বোচ্চ চাপই হইল ইহার সম্পৃক্ত বাষ্পচাপ। উচ্চতর তাপমাত্রায় সম্পৃক্ত বাষ্পচাপের মান বেশি হয়।

বিভিন্ন তরল পদার্থের পরীক্ষা হইতে দেখা যায় যে, কোন নির্দিষ্ট উষ্ণতায় বিভিন্ন তরল পদার্থের সম্পৃক্ত বাষ্পচাপ বিভিন্ন। একই তরল পদার্থের বিভিন্ন উষ্ণতায় সম্পৃক্ত বাষ্পচাপ বিভিন্ন হয়। কোন তরলের বাষ্পচাপ বনাম উষ্ণতার চাপকে ঐ তরলের বাষ্পচার্ট বলে। **রেঁনোর চার্ট** বলিতে জলের বাষ্পচার্ট বুঝায়।

অন্যান্য তরল পদার্থের জন্যও (যথা, অ্যামোনিয়া, কার্বন ডাই-অক্সাইড, ইথিলিন, মিথেইন, নাইট্রোজেন, অক্সিজেন, হাইড্রোজেন, হিলিয়াম, সালফার ডাই-অক্সাইড, ফ্রিয়ন, ইত্যাদি ইত্যাদি) বাষ্পচাপের চার্ট আজকাল পাওয়া যায়।

৮১। সম্পৃক্ত ও অসম্পৃক্ত বাষ্প :—কোন নির্দিষ্ট উষ্ণতায় কোন স্থানে সর্বাপেক্ষা বেশি পরিমাণ বাষ্প থাকিলে উহাকে সম্পৃক্ত বাষ্প বলা হয়। উহার চাপ ও ঘনত্ব সর্বোচ্চ হইবে, কারণ ঐ উষ্ণতায় ঐ স্থানে ঐ বাষ্প আর বেশি ধরিবে না।

ঐ উষ্ণতায় ঐ স্থানের বাষ্পের চাপ যদি সম্পৃক্ত বাষ্পচাপ অপেক্ষা কম হয় তাহা হইলে ঐ বাষ্প অসম্পৃক্ত আছে বুঝিতে হইবে। কোন কক্ষে বাষ্প অসম্পৃক্ত থাকিলে নির্দিষ্ট উষ্ণতায় উহাতে আরো বাষ্প ধরিতে পারে।

কোন বাষ্প উহার তরলের সংস্পর্শে সাম্যাধীন অবস্থায় থাকিলে উহা সর্বদাই সম্পৃক্ত থাকিবে।

৮২। সম্পৃক্ত ও অসম্পৃক্ত বাষ্পের উপর চাপ ও উষ্ণতার প্রভাব ঃ—

চাপের প্রভাব.—সম্পৃক্ত বাষ্পের চাপ সর্বোচ্চ। এই সম্পৃক্ত বাষ্পের আয়তন কমাইয়া চাপ বাড়াইবার চেষ্টা ফলবতী হয় না। আয়তন কমাইলে কিছু বাষ্প ঘনীভূত হইয়া তরলে পরিণত হইয়া যায়, বাষ্পের চাপ সমানই থাকে। আয়তন বাড়াইয়া চাপ কমাইবার চেষ্টা করিলেও যতক্ষণ বাষ্প উহার তরলের সংস্পর্শে থাকিবে ততক্ষণ প্রয়োজনীয় পরিমাণ তরল বাষ্পে পরিণত হইবে, ফলে চাপ সমানই থাকিবে। বাষ্প উহার তরলের সংস্পর্শে না থাকিলে আয়তনবৃদ্ধিতে বাষ্প অসম্পৃক্ত হইয়া যাইবে এবং উহার চাপ কমিয়া যাইবে।

অসম্পৃক্ত বাষ্প গ্যাসের ন্যায় আচরণ করে। নির্দিষ্ট উষ্ণতায় ইহার আয়তন কমাইলে বয়েলের সূত্রানুযায়ী ইহার চাপ বৃদ্ধি পায়। আয়তন ক্রমাগত কমাইলে চাপ বাড়িতে বাড়িতে সম্পৃক্ত বাষ্পচাপে উপনীত হইবে। এই অবস্থার পর বাষ্পটি সম্পৃক্ত বাষ্পের ন্যায় আচরণ করিবে।

উষ্ণতার প্রভাব.—বাষ্পকে উহার তরলের সংস্পর্শে রাখিয়া উষ্ণতা বৃদ্ধি করিলে অধিক পরিমাণ তরল বাষ্পে পরিণত হইবে এবং সম্পৃক্ত বাষ্পচাপ বৃদ্ধি পাইবে। সমস্ত তরল ফুরাইয়া যাইবার পরও উষ্ণতা বৃদ্ধি করিতে থাকিলে বাষ্পটি অসম্পৃক্ত হইয়া যাইবে। এখন আয়তন অপরিবর্তিত রাখিয়া উষ্ণতা বদলাইলে দেখা যাইবে যে, বাষ্প-চাপ চাপের সূত্র অনুযায়ী (অনুচ্ছেদ ৪২) পরিবর্তিত হইতেছে। সম্পৃক্ত বাষ্পের চাপ উষ্ণতা বাড়িলে বাড়ে, কিন্তু চাপের সূত্র অনুযায়ী নহে।

উষ্ণতা হ্রাস পাইলে সম্পৃক্ত বাষ্পের কিছুটা ঘনীভূত হইয়া তরল হইয়া যায় এবং সম্পৃক্ত বাষ্পচাপ কমিয়া যায়। এই চাপ পরিবর্তন চাপের সূত্রানুযায়ী হয় না। অসম্পৃক্ত বাষ্প উষ্ণতার পরিবর্তনে গ্যাসের মত আচরণ করে।

অসম্পৃক্ত বাষ্পের উষ্ণতা হ্রাস পাইলে ইহার চাপ গ্যাসের মত চাপের সূত্রানুযায়ী কমিতে থাকে। আবার, অসম্পৃক্ত বাষ্পের চাপ অপরিবর্তিত রাখিয়া উহার উষ্ণতা বৃদ্ধি বা হ্রাস করিলে উহার আয়তন চার্লসের সূত্রানুযায়ী যথাক্রমে বাড়িতে বা কমিতে থাকিবে। চাপ স্থির রাখিয়া উষ্ণতা কমাইলে আয়তন কমিতে কমিতে এক সময় বাষ্প সম্পৃক্ত হইয়া যাইবে। উক্ত উষ্ণতায় ঐ চাপ হইবে সর্বোচ্চ বা সম্পৃক্ত বাষ্পচাপ। উষ্ণতা আরও কমাইলে কিছু বাষ্প ঘনীভূত হইয়া বাষ্পচাপকে নিম্নতর উষ্ণতার সম্পৃক্ত বাষ্পচাপের সমান করিয়া দিবে।

মন্তব্য ঃ এই অনুচ্ছেদটি একবার পাঠ করিয়া অনুধাবন করা একটু কঠিন হইতে পারে। এইজন্য ছাত্রছাত্রীদের ইহা বারবার পড়িয়া দেখা প্রয়োজন।

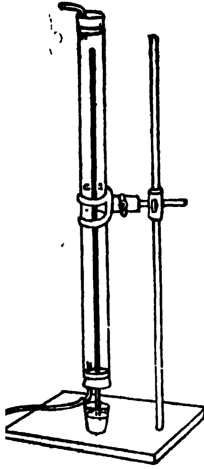
৮৩। **সংকট-উষ্ণতা ও সংকট-চাপ** (Critical temperature and critical pressure) :—কোন বাষ্প একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় বা ঐ নির্দিষ্ট উষ্ণতার নিম্নতর উষ্ণতায় থাকিলে চাপ বাড়াইয়া উহাকে তরল পদার্থে পরিণত করা যায়। কিন্তু বাষ্পটি ঐ নির্দিষ্ট উষ্ণতার অধিক উষ্ণতায় থাকিলে কোন চাপেই ইহাকে আর তরল করা যায় না। এই নির্দিষ্ট উষ্ণতাকে ঐ বাষ্পের সংকট-উষ্ণতা (critical temperature) বলা হয়। সংকট-উষ্ণতায় যে নিম্নতম চাপে বাষ্পকে তরলীভূত করা যায় তাহাকে ঐ বাষ্পের সংকট-চাপ (critical pressure) বলা হয়। সংকট-চাপে ও সংকট-উষ্ণতায় কোন বাষ্পের একক ভর যে আয়তন অধিকার করে উহাকে ঐ বাষ্পের সংকট-আয়তন (critical volume) বলে।

গ্যাস ও বাষ্প।—এই শব্দদুইটিকে সমার্থক হিসাবে সাধারণভাবে ব্যবহার করার রেওয়াজ আছে বটে, কিন্তু বিজ্ঞানসম্মতভাবে বলিতে গেলে কোন্ বাষ্প কেবলমাত্র উহার সংকট-উষ্ণতার নিম্নে থাকিলেই উহাকে বাষ্প বলিয়া অভিহিত করা উচিত এবং বাষ্প যখন উহার সংকট-উষ্ণতা অপেক্ষা উচ্চতর উষ্ণতায় থাকে কেবলমাত্র তখনই উহাকে গ্যাস বলা উচিত।

৮৪। **কোন তরল পদার্থের স্ফুটন কখন্ ঘটিবে** :—কোন তরল পদার্থের সম্পৃক্ত বাষ্পচাপ উহার উপরিস্থ চাপের সমান হইলে তরল পদার্থটির স্ফুটন সুরু হয়, অর্থাৎ যে-কোন তরল পদার্থের ক্ষেত্রেই যে উষ্ণতায় উহার সম্পৃক্ত বাষ্পচাপ উপরিস্থ চাপের সমান হয় তাহাই ঐ তরল পদার্থের স্ফুটনাঙ্ক। নিম্নলিখিত পরীক্ষাদুইটি এই তত্ত্ব প্রমাণিত করে। তরল পদার্থ হিসাবে এই পরীক্ষাগুলিতে জল ব্যবহার করা হইয়াছে।

পরীক্ষা (১)।—4 বা 5 মিলিমিটার ব্যাসের 1 মিটার লম্বা একটি ব্যারোমিটার নল লও। ইহাকে বিশুদ্ধ পারদ দিয়া পূর্ণ কর। তারপর নলের মুখ বুড়া আঙুলের সাহায্যে বন্ধ করিয়া নলটি উল্টাইয়া ঐ মুখ পাত্রস্থ পারদের মধ্যে ডুবাইয়া দেও (চিত্র ৪৪)। এবার নলটির চারিদিকে একটি কাঁচের জ্যাকেট পরাও। জ্যাকেটের উভয় মুখ ছিপি দিয়া বন্ধ করা থাকিবে। নীচের ছিপির মধ্য দিয়া একটি কাঁচের ছোট নল এবং উপরের ছিপির মধ্য দিয়াও আরেকটি কাঁচের ছোট নল প্রবেশ করাও। ব্যারোমিটার নলসহ জ্যাকেটটি একটি ক্ল্যাম্পের সাহায্যে খাড়া করিয়া ধর। এবার উপরের নল দিয়া একটি বয়লার হইতে স্টীম জ্যাকেটের মধ্যে প্রবেশ করাও। নীচের নল দিয়া প্রবিষ্ট স্টীম বাহির হইয়া যাইবে। এবার একটি বক্র পিপেটের

সাহায্যে নলের পারদের মধ্যে বেশ কিছুটা জল ঢুকাইয়া দাও যাহাতে ঐ জলের খানিকটা পারদশীর্ষে গিয়া জমা হইতে পারে—বাকী অংশ টরিসেলীর শূন্য স্থানে বাষ্পীভূত হইবে। তারপর একটি বয়লার হইতে শুষ্ক সম্পৃক্ত স্টীম (steam) জ্যাকেটের মধ্যে প্রবেশ করাও। ভিতরের উষ্ণতা যত বাড়িবে পারদশীর্ষের উপর জলীয় বাষ্পের পরিমাণ তত বাড়িবে এবং উহার চাপ বাড়িয়া যাওয়ায় পারদপৃষ্ঠ নামিয়া যাইতে থাকিবে। যথেষ্ট জল থাকিলে টরিসেলীর স্থানের জলীয় বাষ্প সর্বদাই সম্পৃক্ত থাকিবে। জলীয় বাষ্পের উষ্ণতা স্টীমের উষ্ণতার সমান হইলে ব্যারোমিটার নলের পারদপৃষ্ঠ পাত্রের পারদপৃষ্ঠের সমান নিম্নতায় নামিবে, অর্থাৎ স্ফুটনাঙ্কে জলের সম্পৃক্ত বাষ্পচাপ বায়ুমণ্ডলীয় চাপের সমান হইবে। একটু রকমফের করিয়া বলিতে পারা যায় যে, যে উষ্ণতায় জলের সম্পৃক্ত বাষ্পচাপ উহার উপর ন্যস্ত চাপের সমান হয় সেই উষ্ণতাতেই জল ফুটিতে আরম্ভ করে। ইহা যে-কোন তরল পদার্থের ক্ষেত্রেই সত্য।

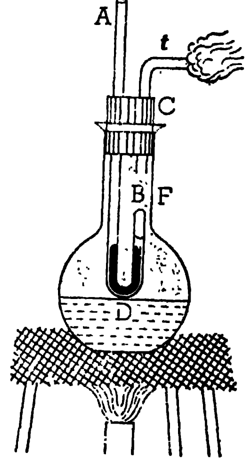


চিত্র ৪৪

দ্রষ্টব্য ঃ জলীয় বাষ্পের সম্পৃক্ত চাপের চার্ট হইতে দেখিতে পাইবে যে, 100° সে.তে জলের সম্পৃক্ত বাষ্পচাপ হইল পারদের 760 মি.মি., অর্থাৎ পারদের 760 মি.মি. চাপে জলের স্ফুটনাঙ্ক হইবে 100° সে.।

পরীক্ষা (২).—প্রায় এক ফুট লম্বা এবং সিকি-ইঞ্চি ব্যাসের কাঁচের একটি সরল নল লও। ব্লো করিয়া এই নলের এক মুখ বন্ধ করিয়া দাও এবং এই দিকের অংশ বেঁকাইয়া U-আকারের একটি যন্ত্র তৈয়ারি কর। ইহা চিত্র ৪৫এর ADB আকারের হইবে। খোলা মুখটির (A) দিকে 1·5 সে.মি. পরিমিত স্থান খালি রাখিয়া নলের সম্পূর্ণ বাকী অংশ পারদ দ্বারা পূর্ণ কর। এখন এই অপূর্ণ স্থান জলদ্বারা পূর্ণ কর। তারপর বুড়া আঙুল দ্বারা চাপিয়া খোলা মুখ বন্ধ করিয়া নলটিকে উল্টাইয়া ধর। ইহাতে জল পারদ ঠেলিয়া উপরে উঠিবে এবং বাঁক পার হইয়া ছোট বাহুতে পারদের উপরে আসিয়া জমা হইবে। এখন ঝাঁকুনি দিয়া বড় বাহু হইতে পারদ বাহির করিতে থাক। বড় বাহুতে পারদের শীর্ষ ছোট বাহুর পারদ শীর্ষের নীচে না নামা পর্যন্ত অল্প অল্প করিয়া পারদ বাহির করিবে। ঐরূপ হইয়া গেলে পরীক্ষার যন্ত্রটি তৈয়ারি হইল জানিবে।

এবার চওড়া মুখের একটি কাঁচের বড় ফ্লাস্ক লও। ইহাতে এক-তৃতীয়াংশ পরিমিত জল লও। একটি কর্কের (C) ভিতর ছিদ্র করিয়া যন্ত্রের বড় বাহুটি ঐ ছিদ্রের মধ্য দিয়া গলাইয়া দিয়া যন্ত্রের বাঁকানো অংশ ফ্লাস্কের ভিতর ঢুকাইয়া ফ্লাস্কের মুখ কর্কটি দ্বারা বন্ধ কর। দেখিও বাঁকানো নল যেন ফ্লাস্কের জলের উপরে থাকে। কর্কের ভিতর আর-একটি ছিদ্র করিয়া একটি বাষ্প-নির্গম নল (t) বসাও।



চিত্র ৪৫

এবার ফ্লাস্কটিকে ত্রিপাদধানীর উপরে তারের জালির উপর বসাইয়া নীচ হইতে বুন্‌সেন বার্নার-দ্বারা উত্তাপ দিয়া জল ফুটাইতে থাক। কিছুক্ষণ পরেই দেখিবে নলের মধ্যস্থ পারদ উভয় বাহুতে সম উচ্চে আছে (যেমন চিত্র ৪৫এ দেখান আছে)। ছোট বাহুর পারদশীর্ষে চাপ দিতেছে উহার উপরিস্থ জলীয় বাষ্প। স্থিতাবস্থায় চাপসৃষ্টিকারী এই জলীয় বাষ্পের উষ্ণতা ফ্লাস্কের মধ্যের উৎপন্ন জলীয় বাষ্পের উষ্ণতার সমান। বড় বাহুর মুখ খোলা—এই বাহুতে পারদশীর্ষের উপর চাপের পরিমাণ হইল বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান। পারদ স্থির অবস্থায় উভয় বাহুতে সমউচ্চে আছে ইহার অর্থ হইল এই যে, উভয় দিকেই পারদশীর্ষের উপর চাপ সমান। তাই প্রমাণ হয় যে, জলের স্ফুটনাঙ্কে জলীয় বাষ্পের সর্বোচ্চ চাপ বা সম্পৃক্ত বাষ্পচাপ ঐ অবস্থায় তরলের উপর ক্রিয়াশীল বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান। এই পদ্ধতির পরীক্ষা কার্য যে-কোন তরল পদার্থের বেলাই প্রযোজ্য।

(ক) স্ফুটনাঙ্কের উপর চাপের প্রভাব।—স্ফুটনাঙ্ক চাপের উপর নির্ভর করে। পারদের 760 মি.মি. চাপে জলের স্ফুটনাঙ্ক 100° সে.। চাপ বাড়িলে স্ফুটনাঙ্ক বাড়ে, চাপ কমিলে স্ফুটনাঙ্ক কমে। দার্জিলিং-এ জল 93·6° সে.তে ফোটে। ইহার কারণ এই যে, দার্জিলিং সমুদ্রপৃষ্ঠ হইতে অনেক উচ্চে (7,200 ফুট) অবস্থিত বলিয়া তথাকার বায়ুমণ্ডলীয় চাপ পারদের 760 মি.মি. অপেক্ষা অনেক কম। দক্ষিণ আমেরিকার কুইটো সহর পৃথিবীর সর্বোচ্চ সহর। সমুদ্রপৃষ্ঠ হইতে ইহার উচ্চতা 9,520 ফুট। ঐ স্থানে ব্যারোমিটারের স্বাভাবিক চাপ পারদের 52·3 সে.মি.। এই চাপে জল 90° সে.তে ফোটে। মণ্ট ব্লেঙ্কের শীর্ষদেশে (15,781 ফুট) জল 85° সে.তে ফোটে।

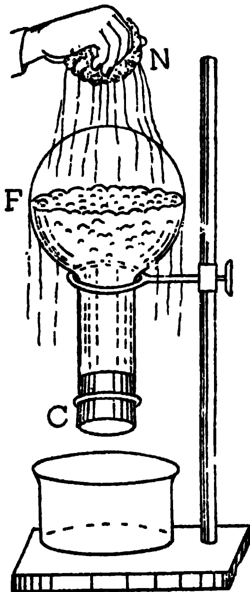
খনির তলদেশে বায়ুমণ্ডলের চাপ পৃথিবীপৃষ্ঠে যাহা তাহা অপেক্ষা বেশি বলিয়া জলের স্ফুটনাঙ্ক 100° সে.র অধিক হয়।

দেখা গিয়াছে যে, পারদের 26·8 মি.মি. চাপ কমিলে বা বাড়িলে স্ফুটনাঙ্ক 1° সে. কমে বা বাড়ে। সমুদ্রপৃষ্ঠ হইতে 960 ফুট উপরে উঠিলে স্ফুটনাঙ্ক 1° সে. হ্রাস পায়।

কোন বদ্ধ স্থানে স্টীম উৎপন্ন করিলে স্টীম জমা হইয়া চাপ ক্রমেই বাড়িতে থাকিবে। ফলে, জলের স্ফুটনাঙ্ক এবং স্টীমের উষ্ণতা ক্রমে বৃদ্ধি পাইবে। এইরূপ বদ্ধ স্থানে নির্দিষ্ট চাপের ভাল্‌ভ বসান থাকিলে ঐ নির্দিষ্ট চাপ অতিক্রম করা সম্ভব নয়, চাপ অধিক হওয়া মাত্র ভাল্‌ভ খুলিয়া গিয়া উহা নির্দিষ্ট মানে নামিয়া আসিবে। স্ফুটনাঙ্ক বৃদ্ধিকরণের এই নীতি পেপিনের পাচক (Papin's digester) আধুনিক উচ্চ চাপের বয়লার ইত্যাদি নির্মাণে প্রয়োগ করা হয়।

৮৫। নিম্ন চাপে স্ফুটন (Boiling under reduced pressure) :—

(ক) ফ্র্যাঙ্কলিনের পরীক্ষা।—বিদ্যালয়ে এই পরীক্ষাটি সহজেই দেখান যায়। শক্ত একটি ফ্লাস্কের (*F*) মধ্যে জল ফুটাও (চিত্র ৪৬)। জল ফুটিতে ফুটিতে অভ্যন্তরস্থ সব বায়ু উদ্গত বাষ্পের সঙ্গে বাহির হইয়া গেলে ফ্লাস্কটির মুখ ছিপি দিয়া বন্ধ করিয়া তাপদানকারী অগ্নিশিখা সরাইয়া লও। এখন ফ্লাস্কটি উল্টাইয়া একটি রিং-ক্ল্যাম্পের উপর বসাইয়া রাখ। খানিকক্ষণ পরে ভিতরের জলের স্ফুটন বন্ধ হইয়া যাইবে। এখন ফ্লাস্কটির উপর ঠাণ্ডা জল বা ইথার ঢাল। ইহার ফলে ফ্লাস্কের ভিতরের জলীয় বাষ্প ঘনীভূত হইয়া জল হইয়া যাইবে এবং ভিতরের চাপ হ্রাস পাইবে। ভিতরের জলের উষ্ণতা 100° সে.এর কম হওয়া সত্ত্বেও ঐ কম চাপে দেখিবে জল আবার ফুটিতে সুরু করিবে।



চিত্র ৪৬

(খ) দ্বিতীয় পরীক্ষা।—একটি বীকারে ফুটন্ত জল লও। ঐ বীকারটিকে তারপর শোষক-পাম্পের রিসিভারের মধ্যে রাখ। যতক্ষণ স্ফুটন বন্ধ না হয় অপেক্ষা কর। তারপর পাম্প চালাও। এখন জলের

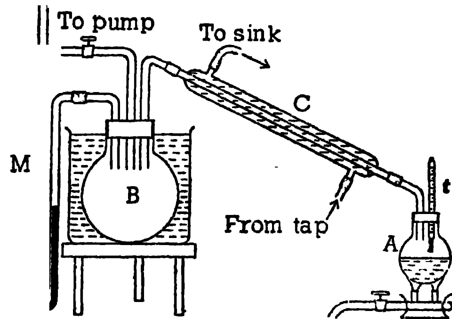
উষ্ণতা পূর্বাপেক্ষা অনেক কম হওয়া সত্ত্বেও দেখিবে যে জল পুনরায় ফুটিতে আরম্ভ করিয়াছে, কারণ জলের উপরের চাপ বায়ু নিষ্কাশিত করিয়া দেওয়ায় এখন অনেক কম।

৮৬। চাপের পরিবর্তনে স্ফুটনাঙ্কের পরিবর্তন :—

রেঁনোর (Regnault) পদ্ধতি।—রেঁনো বিভিন্ন চাপে জলের স্ফুটনাঙ্ক নির্ণয় করিয়াছিলেন। চাপ বাড়ান-কমানর জন্য তিনি পেষক এবং শোষক পাম্প ব্যবহার করিয়াছিলেন। জলের স্ফুটনাঙ্কে উহার উপরিস্থ চাপ উহার সম্পৃক্ত বাষ্পচাপের সমান হয়। অতএব রেঁনোর পরীক্ষার সাহায্যে বিভিন্ন উষ্ণতায় জলের সম্পৃক্ত বাষ্পচাপ নির্ণয় করা হয় বলা যায়।

চিত্র ৪৭এ এই পরীক্ষায় ব্যবহারের উপযোগী একটি যন্ত্র দেখান হইয়াছে। A হইল একটি শক্ত বয়লার। থার্মোমিটার t দ্বারা বয়লারের মধ্যস্থ উষ্ণতা মাপা হয়। উৎপন্ন স্টীম একটি লিবিগ্‌সের (Liebig's) ঘনীভবনযন্ত্রের (condenser) (C) কেন্দ্রীয় নলে প্রবেশ করে। এই নল একটি বৃহৎ ফ্লাস্ক Bর সহিত যুক্ত। Bর সহিত একটি ম্যানোমিটার বা চাপমাপকযন্ত্র (M) লাগান আছে। প্রয়োজন অনুসারে এই ফ্লাস্কের সহিত পেষক বা শোষক পাম্প যুক্ত করা হয়। সমগ্র পরীক্ষা ধরিয়া Bর মধ্যস্থ বায়ু যাহাতে একই উষ্ণতায় থাকে এইজন্য Bকে একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতার তরলগাহের মধ্যে বসাইরা রাখা হয়।

ঘনীভবনযন্ত্রের বাহির প্রকোষ্ঠ দিয়া ঠাণ্ডা জল নিম্ন প্রান্ত হইতে উচ্চ প্রান্ত পর্যন্ত চালনা করা হইলে কেন্দ্রীয় নলের মধ্যস্থ স্টীম জল হইয়া বয়লারে ফিরিয়া যায়। পাম্পের সাহায্যে Bর মধ্যে যে চাপ সৃষ্টি করা হয় সেই চাপে জল বয়লারে ফুটিতে থাকে। চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপ অপেক্ষা কম করিতে হইলে শোষক-পাম্প এবং অধিক করিতে হইলে পেষক-পাম্প ব্যবহার করা হয়। থার্মোমিটার t বিভিন্ন স্ফুটনাঙ্ক সূচিত করে। প্রত্যেক স্ফুটনাঙ্কে সংশ্লিষ্ট চাপ মাপা হয় ম্যানোমিটার M দ্বারা। বিভিন্ন চাপে বিভিন্ন স্ফুটনাঙ্ক নির্ণয় করাই পরীক্ষাটির উদ্দেশ্য। তাই এই পরীক্ষায় করণীয় হইল পাম্প দ্বারা চাপ নির্দিষ্ট করিয়া দেওয়ার পর থার্মোমিটার tর পাঠ স্থির হইলে ঐ পাঠ লওয়া।



চিত্র ৪৭

রেঁনো এই পদ্ধতির সাহায্যে 50° সে. হইতে 230° সে. পর্যন্ত জলের বিভিন্ন চাপের বিভিন্ন স্ফুটনাঙ্ক নির্ণয় করিয়াছিলেন। জলের স্ফুটনাঙ্ক 230° সে. হয় $27\frac{1}{2}$ বায়ুমণ্ডল-চাপে। তিনি যে চার্ট তৈয়ারি করিয়াছিলেন উহাকে **রেঁনোর বাষ্পচাপের তালিকা** (Regnault's table of vapour pressures) বলা হয় (**'সম্পৃক্ত বাষ্পচাপকে' শুধু 'বাষ্পচাপ'ও বলা হয় বলিয়া**)। পরবর্তী কালে অধিকতর নিখুঁত পরীক্ষার সাহায্যে আরও ব্যাপক আকারে এই ধরণের চার্ট প্রস্তুত করা হইয়াছে। স্টীম ইঞ্জিন ও স্টীম টারবাইন সংক্রান্ত হিসাবপত্রে এই চার্টগুলির মূল্য অপরিসীম।

৮৭। তরল পদার্থে অপদ্রব্য (impurity) মিশ্রিত থাকিলে স্ফুটনাঙ্ক পরিবর্তিত হয় :—

(১) দ্রবণের স্ফুটনাঙ্ক (Boiling point with dissolved impurities).—দ্রবণের ক্ষেত্রেও, যে উষ্ণতায় উহার সম্পৃক্ত বাষ্পচাপ উপরিস্থ চাপের সমান হয় তাহাই দ্রবণের স্ফুটনাঙ্ক। কিন্তু কোন নির্দিষ্ট উষ্ণতায় বিশুদ্ধ দ্রাবক অপেক্ষা দ্রবণের সম্পৃক্ত বাষ্পচাপ অপেক্ষাকৃত কম হইবে। এইজন্য কোন নির্দিষ্ট চাপে দ্রাবক অপেক্ষা দ্রবণের স্ফুটনাঙ্ক অধিক হইবে।

স্ফুটনাঙ্কের বৃদ্ধির পরিমাণ দ্রবণের গাঢ়তার (concentration) সহিত সরল অনুপাতসম্পন্ন হয়।

(২) স্ফুটনাঙ্কের উপর মিশ্রিত অপদ্রব্যের (suspended impurities) **প্রভাব.**—অপদ্রব্য দ্রবীভূত না হইয়া মিশ্রিত অবস্থায় থাকিলেও তরল পদার্থের স্ফুটনাঙ্ক বাড়িয়া যায়। এক বায়ুমণ্ডল চাপে বিশুদ্ধ জলের স্ফুটনাঙ্ক 100° সে.। সমুদ্রের জলের স্ফুটনাঙ্ক 104° সে.। সমুদ্রের জলে দ্রবীভূত এবং মিশ্রিত অপদ্রব্য থাকে বলিয়া এরূপ হয়।

স্ফুটনাঙ্ক নির্ণয় করিয়া কোন তরল পদার্থের বিশুদ্ধতা পরীক্ষা করা যায়।

৮৮। স্ফুটনসংক্রান্ত তথ্যগুলির সারমর্ম :—

(ক) নির্দিষ্ট চাপে প্রত্যেক তরল পদার্থের একটি নির্দিষ্ট স্ফুটনাঙ্ক আছে ; চাপ কম হইলে স্ফুটনাঙ্ক নিম্ন হইবে ; চাপ অধিক হইলে স্ফুটনাঙ্ক উচ্চ হইবে।

(খ) চাপ অপরিবর্তিত থাকিলে সমগ্র তরল পদার্থ বাষ্পে পরিণত না হওয়া পর্যন্ত তরলের উষ্ণতার কোন পরিবর্তন হয় না।

(গ) যে উষ্ণতায় তরল পদার্থের উপরিস্থ চাপ পদার্থটির সম্পৃক্ত বাষ্পচাপের সমান হয় উহাই উক্ত তরল পদার্থের স্ফুটনাঙ্ক।

(ঘ) স্ফুটনাঙ্কে থাকিয়া প্রতি একক ভরের তরল পদার্থ বাষ্পে পরিণত হইতে এক নির্দিষ্ট পরিমাণ তাপ শোষণ করিয়া লইবে। এই শোষিত তাপকে সংশ্লিষ্ট বাষ্পের গুপ্ত বা লীন তাপ, বা তরলের বাষ্পীভবনের গুপ্ত বা লীন তাপ বলে।

৮৯। গলন ও স্ফুটনের তুলনা :—

(১) চাপ অপরিবর্তিত থাকিলে উভয় প্রক্রিয়াতেই পদার্থের উষ্ণতা অপরিবর্তিত থাকে। উভয় পদ্ধতিতেই গুপ্ত বা লীন তাপ শোষিত হয়। প্রথম ক্ষেত্রে, শোষিত তাপ হইল তরলের গুপ্ত বা লীন তাপ এবং দ্বিতীয় ক্ষেত্রে, বাষ্পের গুপ্ত বা লীন তাপ।

(২) গলনাঙ্ক ও স্ফুটনাঙ্ক উভয়ই চাপের পরিবর্তনে বদলাইয়া যায়। কিন্তু চাপের পরিবর্তনে স্ফুটনাঙ্ক যতটা বদলায় গলনাঙ্ক তাহা অপেক্ষা অনেক কম বদলায়।

(৩) কতকগুলি বিশেষ অবস্থায় তরল পদার্থকে কিছুটা অতিশীতলীকরণ (supercooling) সম্ভব হয়। আবার কতকগুলি বিশেষ অবস্থায় তরল পদার্থকে কিছুটা অতিতপ্তকরণ (superheating) সম্ভব।

(৪) কোন কোন কঠিন পদার্থ গলিয়া গেলে আয়তনে কমে, আবার কোন কোন কঠিন পদার্থ গলিয়া গেলে আয়তনে বাড়ে। তরল পদার্থ বাষ্পে পরিণত হইলে কিন্তু সকল ক্ষেত্রেই আয়তনে অনেক বাড়ে।

(৫) দ্রবণের জমাট বাঁধার তাপাঙ্ক (জমনাঙ্ক বা হিমাঙ্ক) বিশুদ্ধ দ্রাবকের জমাট বাঁধার তাপাঙ্ক অপেক্ষা কম হয়; দ্রবণের স্ফুটনাঙ্ক কিন্তু বিশুদ্ধ দ্রাবকের স্ফুটনাঙ্ক অপেক্ষা অধিক হয়।

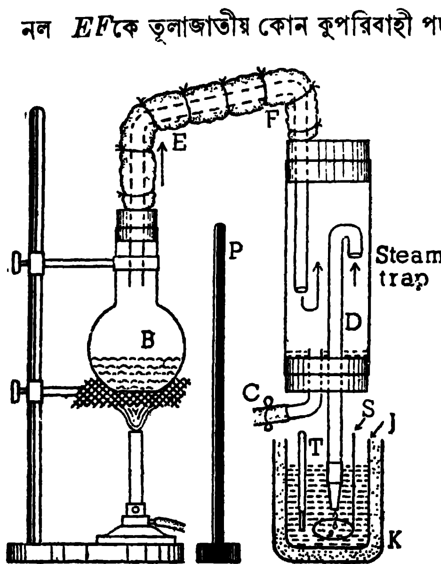
৯০। বাষ্পীভবনের গুপ্ত বা লীন তাপ :—বাষ্পীভূত অবস্থায় পদার্থের আন্তঃতাপের (internal energy) পরিমাণ তরলাবস্থার তুলনায় বেশি হয়। এইজন্য বৈজ্ঞানিক বিচারে বাষ্পীয় অবস্থা তরল অবস্থা অপেক্ষা উচ্চতর অবস্থা।

উষ্ণতা অপরিবর্তিত অবস্থায় একক ভরের তরল পদার্থ বাষ্পে পরিণত হইতে যতখানি তাপ শোষণ করে উহাকে ঐ তরলের বাষ্পীভবনের গুপ্ত বা লীন তাপ বলা হয়। 100° সে. স্ফুটনাঙ্কে জলীয় বাষ্পের গুপ্ত বা লীন তাপ 539 ক্যালরি, প্রতি গ্রামে। ভরের একক হিসাবে গ্রামের পরিবর্তে পাউণ্ড গ্রহণ করিলে জলীয় বাষ্পের লীন তাপ হইবে 539 C. H. U., প্রতি পাউণ্ডে, বা 967 B. Th. U., প্রতি পাউণ্ডে। অতএব দেখা যাইতেছে যে, ভরের তুলনায় এই গুপ্ত বা লীন তাপের পরিমাণ বেশ বেশি। জলীয় বাষ্পের লীন তাপকে সাধারণতঃ স্টীমের লীন তাপ বলা হয়।

জলের উপরিস্থ চাপ বাড়াইয়া স্ফুটনাঙ্ক অধিক করিলে লীন তাপের মান কমিয়া যায় ; অর্থাৎ ঐ বর্ধিত চাপে কম লীন তাপ শোষণ করিয়াই তরল বাষ্পীভূত হয়। আবার চাপ কমাইয়া স্ফুটনাঙ্ক কমাইয়া দিলে লীন তাপের মান বাড়িয়া যায়। অন্যান্য সকল তরল পদার্থও এইরূপ আচরণ করে। তাই মনে রাখিবে যে, বাষ্পীভবনের লীন তাপ স্ফুটনাঙ্ক বাড়িলে কমিয়া যায়। সংকট-উষ্ণতায় বাষ্পীভবনের লীন তাপ শূন্যে পরিণত হয়। এই উষ্ণতায় তরলের বাষ্পীভূত হইতে কোন লীন তাপের প্রয়োজন হয় না। প্রকৃতপক্ষে তাহা হইলে দাঁড়াইল এই যে, এই উষ্ণতায় উপনীত হইলে পদার্থের তরল অবস্থা ও বাষ্পীয় অবস্থা অভিন্ন বা সদৃশ।

৯১। স্টীমের লীন তাপ নির্ণয় করা :—ক্যালরিমিতির মূল নীতি অনুযায়ীই এই পরীক্ষা কার্য করা হয়। বয়লার Bতে উৎপন্ন স্টীম EF নল পথে স্টীম-ফাঁদ (steam trap) Aতে প্রবেশ করে (চিত্র ৪৮)। স্টীম-ফাঁদ স্টীমের ঘনীভূত জলীয় অংশ C নির্গম পথে বাহির করিয়া দেয় এবং শুষ্ক স্টীম খাড়া নল D পথে ক্যালরিমিটারে প্রবেশ করে।

নল EFকে তূলাজাতীয় কোন কুপরিবাহী পদার্থ দ্বারা মুড়িয়া রাখিতে হয়। ইহার ফলে এই নলপথে অগ্রসর হইবার কালে স্টীম শুষ্ক থাকে, তাপ হারাইয়া আংশিকভাবে জলে পরিণত হয় না। একই কারণে স্টীম-ফাঁদের গাত্রও তূলা-জাতীয় কোন কুপরিবাহী পদার্থ দ্বারা আচ্ছাদিত করিয়া রাখা উচিত। স্টীমপাইপ Dর নিম্ন মুখ ক্যালরি-মিটারের তরলের অভ্যন্তরে অনেকটা দূর পর্যন্ত ঢুকাইয়া রাখা হয় এইজন্য যে, স্টীম দ্রুত নির্গত হওয়ার সময় উহা দ্বারা জল যেন ক্যালরিমটার হইতে ছিট্‌কাইয়া বাহিরে না পড়িতে পারে। এই পরীক্ষায় একটি উত্তম দুই-দেওয়াল-বিশিষ্ট ক্যালরিমিটার নেওয়া উচিত ; দেওয়াল-দুইটির মধ্যে (J ও Kর মধ্যে) তূলাজাতীয়



চিত্র ৪৮

কুপরিবাহী পদার্থ ঠাসিয়া দিতে হয়। ক্যালরিমিটারের মধ্যে একটি আন্দোলক-কাঠি (S) থাকে। ইহার সাহায্যে আলোড়িত করিয়া তরলের উষ্ণতা সর্বত্র সমান রাখা হয়। সূক্ষ্ম মাপের একটি থার্মোমিটার (T) ক্যালরিমিটারের মধ্যে খাড়াভাবে প্রবেশ করাইয়া রাখা হয়।

বয়লার B এবং ক্যালরিমিটার K'র মধ্যে অ্যাস্‌বেস্টস্ (asbestos)-এর একটি প্রাকার (P) খাড়াভাবে বসাইয়া দেওয়া উচিত। এইরূপ করা দরকার যাহাতে বয়লারের তাপক হইতে সরাসরি তাপ গিয়া ক্যালরিমিটারকে উত্তপ্ত করিতে না পারে।

ক্যালরিমিটারটিকে আন্দোলকসহ প্রথমে পরিষ্কার কর এবং শুষ্ক করিয়া লও। তারপর ইহাদের একত্রে ওজন কর। মনে কর, এই ওজন w_1 গ্রাম। এখন ক্যালরিমিটারের দুই-তৃতীয়াংশের মত পাতনশুদ্ধ জলে পূর্ণ করিয়া উহা আবার ওজন কর (w_2 গ্রাম)। থার্মোমিটার T'র সাহায্যে জলের প্রারম্ভিক উষ্ণতা ($t_1°$ সে.) মাপ। পূর্বেই বরফ মিশাইয়া এই উষ্ণতা লেবরেটরির উষ্ণতা অপেক্ষা $10°/15°$ কম করিয়া লইতে পারিলে ভাল হয়।

এখন বয়লারে জল ফুটাও এবং যথেষ্ট পরিমাণ স্টীম পাইপ D হইতে বাহির হইতে থাকিলে D-নলের নীচের মুখ ক্যালরিমিটারের জলে যতটা সম্ভব ডুবাইয়া দাও। ক্যালরিমিটারের শীতল জল স্টীমকে ঘনীভূত করিবে এবং স্টীমের লীন তাপ-প্রাপ্তির ফলে জলের উষ্ণতা বৃদ্ধি পাইবে। এই পরিমাণ স্টীম দিতে হইবে যাহাতে মিশ্রণের সর্বোচ্চ সাধারণ উষ্ণতা লেবরেটরির উষ্ণতা হইতে $10°/15°$ বেশি হয়। তারপর D-নলের প্রান্ত চট্‌ করিয়া ক্যালরিমিটার হইতে বাহির করিয়া লও। আন্দোলক-কাঠি S নাড়িতে থাকিবে। থার্মোমিটার T'র সাহায্যে মিশ্রণের সর্বোচ্চ সাধারণ উষ্ণতা ($t_2°$ সে.) যাহা হইবে মাপ। তারপর থার্মোমিটার উঠাইয়া লও। শীতল হওয়ার পর ক্যালরিমিটারটিকে উহার মধ্যস্থ জলসহ এবার আবার ওজন কর (w_3 গ্রাম)।

মনে রাখিও যে, ক্যালরিমিটারের জলের উষ্ণতা $10°-15°$ বাড়িতে সময় লাগিবে খুব কম। কারণ স্টীমের লীন তাপ খুব বেশি। মিনিট খানিকের বেশি সময় লাগিবে না। জলের প্রারম্ভিক উষ্ণতা লেবরেটরির উষ্ণতা অপেক্ষা $10°-15°$ কম এবং জলের চূড়ান্ত সাধারণ উষ্ণতা লেবরেটরির উষ্ণতা অপেক্ষা $10°-15°$ বেশি হইলে (রামফোর্ডের ব্যবস্থানুযায়ী) তাপ-বিকিরণজনিত ভুল সংশোধন করিতে হইবে না।

আংকিক হিসাব।—ক্যালরিমিটার ও আন্দোলকের ভর $= w_1$ গ্রাম। গৃহীত জলের ভর $= (w_2 - w_1)$ গ্রাম $= m$ গ্রাম, মনে কর। ঘনীভূত স্টীমের ভর $= (w_3 - w_2)$ গ্রাম $= M$ গ্রাম, মনে কর।

ধরা যাক্ যে, পরীক্ষাকালীন বায়ুমণ্ডলীয় চাপে স্টীমের তাপাঙ্ক $= t_s°$ সে.; ক্যালরিমিটার ও আন্দোলকের পদার্থগত আপেক্ষিক তাপ $= s$।

$t_s°$ সে.তে স্টীমকর্তৃক ত্যক্ত লীন তাপ $= L \times M$ ক্যালরি, ($L = t_s°$ সে.তে স্টীমের লীন তাপ)। ঘনীভূত জল $t_s°$ সে. হইতে $t_2°$ সে.তে নামিয়া আসিবার ফলে ত্যক্ত তাপ $= M \times 1 \times (t_s - t_2)$ ক্যালরি। ধরিয়া লওয়া হইয়াছে যে, জলের আপেক্ষিক তাপ সকল উষ্ণতাতেই 1-এর সমান।

অতএব স্টীমকর্তৃক ত্যক্ত মোট তাপ $= ML + M(t_s - t_2)$ ক্যালরি। ক্যালরিমিটার ও আন্দোলক-কর্তৃক লব্ধ তাপ $= w_1 \times s \times (t_2 - t_1)$ ক্যালরি।

ক্যালরিমিটারে গৃহীত জল-কর্তৃক লব্ধ তাপ $= m \times 1 \times (t_2 - t_1)$ ক্যালরি।

অতএব ক্যালরিমিটার (আন্দোলকসহ) এবং জল-কর্তৃক লব্ধ মোট তাপ $= (w_1 s + m) \times (t_2 - t_1)$ ক্যালরি।

$\therefore$ ত্যক্ত তাপ $=$ লব্ধ তাপ, সূত্রানুযায়ী, $ML + M(t_s - t_2) = (w_1 s + m) \times (t_2 - t_1)$; বা $L = \dfrac{(w_1 s + m)(t_2 - t_1)}{M} - (t_s - t_2)$, ক্যালরি, প্রতি গ্রামে।

$t_s = 100°$ সে. হইলে, $L = \dfrac{(w_1 s + m)(t_2 - t_1)}{M} - (100 - t_2)$ হইবে।

আলোচনা—ক্যালরিমিটারের জলে স্টীম হঠাৎ ঘনীভূত হইয়া যাইবার ফলে স্টীম-পাইপের মধ্যের চাপ কমিয়া যায়। এজন্য ক্যালরিমিটারের জল বাহিরের বায়ুমণ্ডলের চাপে বয়লারের মধ্যে ঢুকিয়া পড়িতে পারে। এইরূপ ঘটিলে বয়লার ক্ষতিগ্রস্ত হইতে পারে। স্টীম-ফাঁদ মধ্যে থাকায় বয়লারে এইরূপভাবে জল যাওয়া বন্ধ হইবে এবং বয়লারটি রক্ষা পাইবে।

ধরিয়া লওয়া হইয়াছে যে, ক্যালরিমিটারে শুষ্ক সম্পৃক্ত স্টীম প্রবেশ করান হইয়াছে। সাধারণতঃ এইরূপ বয়লারে উৎপন্ন স্টীম কিছুটা আর্দ্র থাকে। প্রকৃতপক্ষে এইজন্য পরীক্ষালব্ধ Lএর মান উহার সঠিক মান অপেক্ষা কিছু কম হইবে।

ক্যালরিমিটারের জলের উষ্ণতা স্টীম মিশ্রণের ফলে ক্রমেই অধিক হয়। ফলে ক্যালরিমিটারের জলের বাষ্পায়নের হারও ক্রমে বাড়িবে। বাষ্পায়নের ফলে জলের

পরিমাণ কিছুটা কমিয়া যাইবে। বাষ্পায়নের লীন তাপ জল হইতে শোষিত হইবে। ত্যক্ত তাপ = লব্ধ তাপ, আংকিক হিসাবের প্রযুক্ত নীতি তাই যথাযথ প্রযোজ্য হওয়ার কথা নয়। এই পরীক্ষায় জলের উষ্ণতাবৃদ্ধি অল্প করা হয়—তাই নীতিটি সাধারণভাবে প্রয়োগ করা চলে।

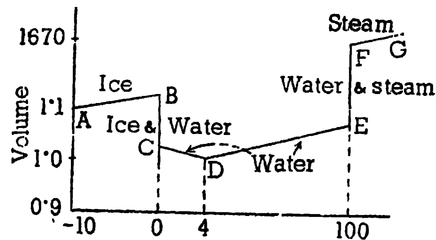
স্টীম অতি দ্রুত ক্যালরিমিটারে প্রবেশ করিতে থাকিলে উহার কিছুটা ঘনীভূত না হইয়া বুদ্‌বুদাকারে জলের মধ্য দিয়া বাহির হইয়া যাইবে। বয়লারে প্রদত্ত তাপ নিয়ন্ত্রণ করিয়া এইরূপ যাহাতে না ঘটে তাহা করিতে হইবে।

পরীক্ষাকালীন বায়ুমণ্ডলের চাপ স্বাভাবিক না থাকিলে স্টীমের উষ্ণতা 100° সে এর কম-বেশি হইতে পারে। ব্যারোমিটার হইতে বায়ুমণ্ডলের চাপ দেখিয়া নিয়া সেই অনুযায়ী স্টীমের তাপমাত্রার সংশোধন করা আবশ্যক।

৯২। **স্টীমের লীন তাপ অধিক হইবার ফলাফল :**—স্টীমে হাত পুড়িলে খুবই যন্ত্রণা হয়। ইহার কারণ এই যে, তরলীভূত হইলে স্টীম প্রভূত পরিমাণ লীন তাপ ত্যাগ করে। স্টীমের প্রদত্ত তাপের পরিমাণের উপর স্টীম ইঞ্জিনে উৎপন্ন যান্ত্রিক শক্তি নির্ভর করে। স্টীমের লীন তাপ এবং তাপধারণ-ক্ষমতা অধিক বলিয়া স্টীম প্রচুর পরিমাণ তাপ দিতে সক্ষম। লীন তাপ অধিক বলিয়া স্টীম সহজে ঘনীভূত হয় না, শুষ্ক থাকে। এইজন্য তাপক-পাইপের তাপমাধ্যম হিসাবে স্টীম ব্যবহার করা হয়। স্টীম সহজে ঘনীভূত হইলে পাইপের গাত্রের ধাতু ক্ষতিগ্রস্ত হইত। বাষ্পের লীন তাপের মান অধিক। তাই হ্রদ বা পুকুরের জল সহজে শুকাইয়া যাইতে পারে না এবং শস্য সহজে জলহীন হইয়া পড়ে না।

৯৩। বরফ গলিয়া জল হইলে, এবং জল স্টীম হইলে, আয়তনে কিরূপ পরিবর্তন ঘটে :—

চিত্র ৪৯এ আয়তনের এই পরিবর্তন নীতিগতভাবে দেখান হইয়াছে—ইহাতে লেখটি সঠিক মাপ অনুযায়ী আঁকা হয় নাই। -10° সে.এর 1 গ্রাম বরফ 1 বায়ুমণ্ডল চাপের অধীনে স্টীমে পরিণত হওয়া পর্যন্ত উহার



চিত্র ৪৯

আয়তনে যে পরিবর্তন হইবে তাহা চিত্রে সূচিত হইয়াছে। -10° সে. হইতে

0° সে. পর্যন্ত উষ্ণতাবৃদ্ধি ঘটিলে বরফের আয়তন AB সরলরেখা ধরিয়া অল্প হারে বাড়িতে থাকে। এখন 0° সে.-তে উহা জলে পরিণত হইলে আয়তনে অনেকটা কমিয়া যায়। এই আয়তনহ্রাস খাড়া নীচের দিকে টানা রেখা BC দ্বারা (এইরূপ অবস্থান্তরে উষ্ণতা অপরিবর্তিত থাকে বলিয়া) বুঝান হইয়াছে। Cতে সবটুকু বরফ জলে পরিণত। 0° সে. হইতে 4° সে. পর্যন্ত জল আয়তনে ক্রমে কমে, যদিও উষ্ণতা বাড়ে। এই আয়তনহ্রাস CD সরলরেখা দ্বারা বুঝান হইয়াছে। 4° সে.তে 1 গ্রাম জলের আয়তন (বা, জলের আপেক্ষিক আয়তন) সর্বনিম্ন হয়। 4° সে. হইতে 100° সে. পর্যন্ত জলের আয়তন DE সরলরেখা ধরিয়া ক্রমাগত বাড়িতে থাকে। 100° সে.তে জল ফুটিয়া বাষ্পে পরিণত হইলে **আয়তনের প্রভূত বৃদ্ধি** (1670 গুণ) ঘটে। এই আয়তন-বৃদ্ধি EF খাড়া সরলরেখা দ্বারা বুঝান হইয়াছে (অবস্থান্তরের সময় উষ্ণতা স্থির থাকে বলিয়া)। F বিন্দুতে 1 গ্রাম জল সম্পূর্ণই বাষ্পে পরিণত হইবে। ইহার পর স্টীমকে অতিতপ্ত (superheated) করিলে আয়তন উচ্চ হারে FG পথ ধরিয়া বাড়িতে থাকে। দেখা গিয়াছে যে, 0° সে. এবং 8° সে.তে জলের আপেক্ষিক আয়তন প্রায় সমান।

দ্রষ্টব্য ঃ 100° সে.তে স্টীমের আপেক্ষিক আয়তন অত্যন্ত বেশি। স্টীমের লীন তাপ অধিক হইবার ইহা একটি কারণ। জল স্টীমে পরিণত করিতে হইলে জলের অণুগুলির আভ্যন্তরীণ শক্তি বৃদ্ধি করার জন্য বাহির হইতে তাপশক্তি দেওয়া প্রয়োজন। আবার, জল স্টীম হইলে বাহিরের চাপের বিরুদ্ধে আয়তনবৃদ্ধি ঘটে বলিয়া আরও কিছু বাহ্য শক্তি বাহির হইতে তাপের আকারে দিতে হয়। লীন তাপকে এই দুই ভাগে ভাগ করা যায়। স্টীমের লীন তাপ 539 সি. জি. এস্. একক হইলে 40 একক ব্যয় হয় এই বাহ্য আয়তনবৃদ্ধির কাজে, আর 499 একক ব্যয় হয় আভ্যন্তরীণ শক্তিবৃদ্ধির কাজে।

Examples

1. In an experiment on the determination of latent heat of steam by calorimetric method, the following data were obtained :

Wt. of calorimeter and stirrer = 52·94 gm.

Wt. of calorimeter, stirrer and water = 192·14 gm.

Wt. of calorimeter, stirrer, water and steam = 197·02 gm.

Initial temperature of cold water = 4·4°C.; Temperature of steam = 100°C.; Final temperature of water = 25·4°C. Room temperature = 15°C. Find the latent heat of the steam used. Assume sp. heat of calorimeter and stirrer material = 0·095.

উত্তর : ক্যালরিমিটার ও জলের প্রারম্ভিক উষ্ণতা লেবরেটরির উষ্ণতার (15−4·4=)10·6° সে. নীচে। আবার উহাদের চূড়ান্ত উষ্ণতা লেবরেটরির উষ্ণতার (25·4−15=)10·4° সে. উপরে। অতএব তাপ বিকিরণের জন্ম কোন সংশোধন করিবার প্রয়োজন নাই (রামফোর্ডের নীতি অনুযায়ী)।

প্রদত্ত জলের ভর = 192·14—52·94 = 139·20 গ্রাম ; ক্যালরিমিটার ও আন্দোলকের জলবিকল্প বা সমার্থক জল = 52·94×0·095 = 5·00 গ্রাম।

সুতরাং, জল ও ক্যালরিমিটারের (আন্দোলকসহ) সমার্থক জলের মোট পরিমাণ = 144·20 গ্রাম। স্টীমের ভর = 197·02—192·14 = 4·88 গ্রাম। জল, ক্যালরিমিটার ও আন্দোলকের উষ্ণতাবৃদ্ধি = 25·4 − 4·4 = 21·0° সে.।

(ক) 4·88 গ্রাম স্টীম 100° সে.তে ঘনীভূত হইয়া 100° সে.এর জলে পরিণত হইবার জন্ম ত্যক্ত লীন তাপ = 4·88 L ক্যালরি, (L = স্টীমের লীন তাপ)।

4·88 গ্রাম ঘনীভূত জল 100° সে. হইতে 25·4° সে.তে নামিবার ত্যক্ত তাপ = 4·88×1×(100−25·4) = 364 ক্যালরি। অতএব মোট ত্যক্ত তাপ = (4·88L+364) ক্যালরি।

(খ) ঠাণ্ডা জল, ক্যালরিমিটার ও আন্দোলক-সংস্থা 4·4° সে. হইতে 25·4° সে.তে উঠিবার লব্ধ তাপ = 144·2×1×21 = 3028 ক্যালরি।

ত্যক্ত তাপ = লব্ধ তাপ, এই নীতি অনুযায়ী, 4·88L+364 = 3028 ; বা, L = 546 ক্যালরি, প্রতি গ্রামে।

2. A copper vessel weighing 100 gms. contains 300 gms. of water at 0°C. and 50 gms. of ice at 0°C. What quantity of steam at 100°C. must be blown into the water to raise the temperature of the calorimeter and its contents to 10°C? Assume sp. heat of copper = 0·095; latent heat of steam = 537 calories per gm.; latent heat of fusion of ice = 80 calories per gm.

উত্তর : মনে কর যে, প্রয়োজনীয় স্টীমের পরিমাণ = x গ্রাম এবং জলের আপেক্ষিক তাপ সর্ব উষ্ণতায় 1 বলিয়া মনে করা যাক্।

(ক) x গ্রাম স্টীমের 100° সে.তে ঘনীভবনের ফলে ত্যক্ত তাপ = x×537 ক্যালরি।

100° সে. হইতে 10° সে.তে নামিতে ঘনীভূত স্টীম (জল) কর্তৃক ত্যক্ত তাপ = x×1×(100−10) = 90x ক্যালরি। ∴ মোট ত্যক্ত তাপ = 537x+90x = 627x ক্যালরি।

(খ) 0° সে. হইতে 10° সে.তে উঠিতে ক্যালরিমিটার-কর্তৃক লব্ধ তাপ = 100×0·095×(10−0) = 95 ক্যালরি। 0° সে. হইতে 10° সে.তে উঠিতে ক্যালরিমিটারের মধ্যস্থ জল কর্তৃক লব্ধ তাপ = 300×1×(10−0) = 3000 ক্যালরি।

0° সে.তে বরফ গলনের জন্য লব্ধ লীন তাপ=50×80=4000 ক্যালরি। 0° সে. হইতে 10° সে.তে উঠিবার ফলে বরফ-গলা জলকর্তৃক লব্ধ তাপ=50×1×(10−0)=500 ক্যালরি।

∴ মোট লব্ধ তাপ=95+3000+40 0+500=7595 ক্যালরি।

ত্যক্ত তাপ=লব্ধ তাপ, এই নীতি অনুযায়ী, 627x=7595; বা, x=12·1 গ্রাম।

Exercises

1. If the hand is dipped in lukewarm water and then exposed to air, the hand feels cold. If the hand is dipped in ether instead and then exposed to air, the hand feels colder. Explain these facts.

2. Define the boiling point of a liquid. How does the boiling point of a pure liquid depend on the external pressure? Write a note on the boiling point of a solution.

3. Describe in simple words what you know about the phenomenon of boiling. State how the bubbles are formed and the process of bubbling continues. How can you account for the rapid vaporisation in boiling?

4. A person wearing wet clothes standing in the open on a windy day is likely to catch cold. Why? Give a few more illustrations of the same effect.

5. State and explain the various factors that affect evaporation of water. Distinguish between evaporation and boiling.

6. In order to cook food on the top of a very high mountain, one must employ a special method which is not necessary at the sea-level. Explain the reason.

7. What do you mean by the vapour-pressure of a liquid? How does the vapour-pressure of a liquid behave if the temperature is increased? Give your answer with the help of a simple experiment.

8. Explain the term 'saturation vapour-pressure of a liquid'. Has saturation vapour-pressure anything to do with the superincumbent pressure?

9. 'The maximum vapour-pressure of water at its boiling point is equal to the atmospheric pressure.' Establish this fact by an experiment.

10. Distinguish between saturated and unsaturated vapours. What are the effects of raising and lowering the temperature of saturated and unsaturated vapours?

11. Describe a suitable experiment to show that a liquid can be made to boil at a temperature below its normal boiling point.

12. Describe Regnault's method of determining the saturation vapour-pressure of water between 50°C. and 230°C. What is 'Regnault's table'?

13. Define the term 'latent heat of steam'. Explain the statement that the latent heat of steam at 100°C. is 539 c.g.s. units. What would it be equal to in the lb.-degree-Fahrenheit unit?

14. Describe a simple calorimetric experiment by which the latent heat of steam at atmospheric pressure can be determined.

15. How does latent heat vary with temperature ? When will the latent heat be zero ?

16. How many lbs. of steam at 100°C. will be required (a) to melt 35 lbs. of ice at 0°C., and (b) to raise 12 lbs. of water from 15°C. to 90°C. ? Latent heat of water=80 calories per gm ; sp. heat of water=1 ; latent heat of steam =539 calories per gm. উত্তর : 4·39 ; 1·6 ।

17. If $\frac{1}{2}$ lb. of steam at 100°C. gets mixed with 30 lbs. of water at 12°C., what will be the resulting temperature ? Latent heat of steam=539 calories per gm ; sp. heat of water=1. উত্তর : 22·2° সে. ।

18. 25 gms. of wax are heated to 60°C. and poured into 100 gms. of water at 5°C. in a calorimeter of water-equivalent of 10 gms. Find the final temperature of the mixture. M. P. of wax=45°C. ; sp. heat of solid wax=0·3 ; sp. heat of liquid wax=0·4 ; latent heat of wax=40 cals. per gm. ; sp. heat of water=1. উত্তর : 17·34° সে. ।

19. A glass beaker of negligible thermal capacity contains 1 lb. of water and some ice. When 1 oz. of steam at 100°C is mixed, the mixture attains a temperature of 3°C. How much ice was there ? Latent heat of fusion of ice=79 cals./gm. Latent heat of steam=537 cals./gm. উত্তর : 7·15 আউন্স (প্রায়) ।

20. Steam at 100°C. is passed into a zinc vessel of mass 500 gms. containing 1 kgm. of ice and 1 kgm. of water at 0°C., and the temperature of the mixture rises to 30°C. If the system now weighs 232 gms. more, find the latent heat of steam. Sp. heat of zinc=0·092 ; latent heat of water=80 cals./gm. উত্তর : 539 ক্যালরি, প্রতি গ্রামে ।

সপ্তম পরিচ্ছেদ

বায়ুমণ্ডলে জলীয় বাষ্প : হাইগ্রোমিতি

(Moisture in the Atmosphere : Hygrometry)

৯৪। বায়ুমণ্ডলে জলীয় বাষ্প :—বায়ুমণ্ডলে সর্বদাই জলীয় বাষ্প থাকে। যে বায়ু আমরা শ্বাসে টানিয়া লই উহা সর্বদাই কিছুটা আর্দ্র থাকে। বায়ুতে জলীয় বাষ্প কম থাকিলে আমরা ঐ বায়ুকে শুষ্ক বায়ু বলি এবং জলীয় বাষ্প খুব বেশি থাকিলে ঐ বায়ুকে আর্দ্র বায়ু বলি। অতএব আমরা আর্দ্র বায়ু ও শুষ্ক বায়ু এই কথাদুইটি তুলনামূলক অর্থে ব্যবহার করি, কোন সঠিক বৈজ্ঞানিক অর্থে নহে। আর্দ্রতা ও শুষ্কতার পরিমাণ বৈজ্ঞানিক ভিত্তিতে সঠিকভাবে নির্দেশ করিতে হইলে অধিকতর বিজ্ঞানসম্মত শব্দাদি নির্বাচন করা দরকার। বায়ুর আর্দ্রতা কম বেশি হইতে পারে ; আর্দ্রতাসম্বন্ধীয় বোধও আমাদের শরীরের উপর কিছুটা নির্ভর করে। এ বিষয়ে পরে আলোচনা করা হইবে।

সমুদ্র, নদী, হ্রদ, ভিজা মাটি, গাছপালা ইত্যাদি হইতে প্রতিনিয়ত বায়ুমণ্ডলে জলীয় বাষ্প প্রবেশ করিতেছে। জলের উৎসগুলির অবস্থিতি, অক্ষাংশ, সমুদ্রতল হইতে উন্নতি ও আরও অনেক ভৌগোলিক কারণের জন্য এক এক স্থানের বায়ুমণ্ডলে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ এক এক রূপ হইয়া থাকে। আবার একই স্থানের বায়ুমণ্ডলে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ বিভিন্ন ঋতুতে, বিভিন্ন দিনে ও বিভিন্ন সময়ে বিভিন্ন হইতে পারে। জলীয় বাষ্প বায়ু অপেক্ষা হাল্‌কা বলিয়া উহা উপরে উঠিতে চায়। তৎসত্ত্বেও জলের উৎসগুলির নিকটে পৃথিবীপৃষ্ঠে বায়ুমণ্ডলের জলীয় বাষ্পের পরিমাণ ঊর্ধ্বাকাশ অপেক্ষা অধিক হইয়া থাকে।

মেঘ, বৃষ্টি, কুয়াশা, শিশির, শিলাপাত ইত্যাদি নানা সুপরিচিত ঘটনা হইতে আমরা বায়ুমণ্ডলে জলীয় বাষ্পের অবস্থিতি সহজেই বুঝিতে পারি।

বায়ুতে জলীয় বাষ্পের অবস্থিতির কয়েকটি সুপরিচিত প্রমাণ।—উষ্ণ দিনে কোন গ্লাসের মধ্যে ঠাণ্ডা বরফশীতল পানীয় নিলে গ্লাসের বাহিরের গাত্র ভিজিয়া ওঠে। কারণ, বায়ুতে অদৃশ্য জলীয় বাষ্প সদা বর্তমান; গ্লাসের শীতল গাত্রের সংস্পর্শে উহা জমিয়া জল হয়। ঐ জল গ্লাসের গাত্রে লাগিয়া থাকে।

শীতের রাত্রে ঘরের ভিতরে কাঁচের জানালার উপরে জলীয় বাষ্প ঘনীভূত হইয়া লাগিয়া থাকে। ঘরে যাঁহারা থাকেন তাঁহাদের নিশ্বাসের সহিত প্রভূত পরিমাণ জলীয় বাষ্প বাহির হয়। ঘরের বায়ু দিনের উষ্ণতায় অনেকটা পরিমাণ জলীয় বাষ্প ধরিয়া রাখিতে পারে। রাত্রে উষ্ণতা কমিয়া গেলে ঘরের বায়ু আর অতটা জলীয় বাষ্প ধরিয়া রাখিতে পারে না। তখন অতিরিক্ত জলীয় বাষ্প শীতল কাঁচের জানালার সংস্পর্শে আসিয়া জলে পরিণত হয়।

বায়ুর আর্দ্রতা।—বায়ুতে জলীয় বাষ্পের পরিমাণের উপর উহার আর্দ্রতা নির্ভর করে। আর্দ্রতার মান বুঝাইবার জন্য 'আপেক্ষিক আর্দ্রতা' এবং 'পরম আর্দ্রতা' কথা-দুইটি ক্ষেত্রবিশেষে ব্যবহার করা হয়।

হাইগ্রোমিতি (hygrometry).—বায়ুমণ্ডলীয় জলীয় বাষ্পের পরিমাপবিজ্ঞানকে হাইগ্রোমিতি বলা হয়। হাইগ্রোমিটার বায়ুর আর্দ্রতামাপক যন্ত্র। এই যন্ত্রের নাম হইতেই হাইগ্রোমিতি আখ্যার উদ্ভব হইয়াছে।

৯৫। শিশিরাঙ্ক (dew point) :—কোন নির্দিষ্ট উষ্ণতায় বায়ু যে পরিমাণ জলীয় বাষ্প ধরিয়া রাখিতে পারে তাহার একটি সর্বোচ্চ সীমা আছে। উষ্ণতা বাড়িলে বায়ুর জলীয় বাষ্প ধারণের ক্ষমতা বাড়ে, উষ্ণতা কমিলে ঐ ক্ষমতা কমে। কোন নির্দিষ্ট

উষ্ণতায় বায়ুতে সর্বোচ্চ পরিমাণ জলীয় বাষ্প থাকিলে ঐ বায়ু জলীয় বাষ্প দ্বারা সম্পৃক্ত বলা হয়। এই অবস্থায় বায়ুর অন্তর্গত জলীয় বাষ্পের চাপও সর্বোচ্চ। এই সর্বোচ্চ চাপকে প্রদত্ত উষ্ণতায় জলীয় বাষ্পের সম্পৃক্ত বাষ্পচাপ বলা হয়।

সাধারণ উষ্ণতায় বায়ু সর্বদা জলীয় বাষ্প দ্বারা সম্পৃক্ত থাকে না, অর্থাৎ সাধারণ উষ্ণতায় বায়ুর অন্তর্গত জলীয় বাষ্পের চাপ ঐ উষ্ণতার সম্পৃক্ত বাষ্পচাপ অপেক্ষা কম থাকে। কিন্তু বায়ুর উষ্ণতা যদি ক্রমে কমিতে থাকে তাহা হইলে এমন সময় আসিতে পারে যখন ঐ বায়ুতে অবস্থিত জলীয় বাষ্পের দ্বারাই ঐ বায়ু সম্পৃক্ত হইয়া যাইবে। যে উষ্ণতায় এইরূপ ঘটিবে তাহাকে ঐ বায়ুর শিশিরাঙ্ক (dew point) বলা হয়। উষ্ণতা শিশিরাঙ্কের নীচে নামিলে জলীয় বাষ্প দ্বারা ঐ বায়ু অতিসম্পৃক্ত (super-saturated) হইবার সম্ভাবনা দেখা দিবে। এইরূপ ক্ষেত্রে ঐ উষ্ণতায় অতিরিক্ত জলীয় বাষ্প শিশিরের আকারে জলে পরিণত হইবে। সাধারণ উষ্ণতায় জলীয় বাষ্পের চাপ শিশিরাঙ্কের সম্পৃক্ত বাষ্পচাপের সমান হইবে।

৯৬। **আপেক্ষিক আর্দ্রতা (Relative humidity)** :—আর্দ্র বায়ু সম্পৃক্ত অবস্থার তুলনায় কিরূপ অবস্থায় আছে তাহা আপেক্ষিক আর্দ্রতা দ্বারা মাপা হয়, অর্থাৎ আপেক্ষিক আর্দ্রতার দ্বারা বায়ুর আর্দ্রতার অবস্থা মাপা হয়। কোন উষ্ণতায় ($t°$ সে.) নির্দিষ্ট আয়তনের বায়ুতে প্রকৃতপক্ষে কতটা জলীয় বাষ্প আছে এবং ঐ আয়তনের বায়ু কতটা জলীয় বাষ্প দ্বারা সম্পৃক্ত হয় ঐ দুই পরিমাণ জলীয় বাষ্পের ভরের অনুপাত দ্বারাই বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতা মাপা হয়। অর্থাৎ আপেক্ষিক আর্দ্রতা $= t°$ সে.তে কোন আয়তনের বায়ুর অন্তর্গত জলীয় বাষ্পের ভর $\div$ ঐ $t°$ সে.তে উক্ত আয়তনের বায়ু যে পরিমাণ জলীয় বাষ্প দ্বারা সম্পৃক্ত হয় উহার ভর ... (১)

$= t°$ সে.তে বায়ুর জলীয় বাষ্পের প্রকৃত চাপ $\div t°$ সে.তে জলীয় বাষ্পের সম্পৃক্ত চাপ $=$ বায়ুর শিশিরাঙ্কে জলের সম্পৃক্ত বাষ্পচাপ $\div t°$ সে.তে জলের সম্পৃক্ত বাষ্পচাপ ... ... (২)

$= \frac{f}{F}$, মনে কর ... ... (৩)

$= \frac{f}{F} \times 100\%$ ... ... (৪)

পরম আর্দ্রতা (absolute humidity or specific humidity).—কোন নির্দিষ্ট আয়তনের বায়ুতে উপস্থিত জলবাষ্পের ভর দ্বারা ঐ বায়ুর পরম আর্দ্রতা মাপা হয়। সাধারণতঃ পরম আর্দ্রতা গ্রাম, প্রতি ঘন মিটারে, বা পাউণ্ড, প্রতি ঘন ফুটে, মাপা হয়।

৯৭। **বায়ুর আর্দ্রতা ও শুষ্কতা**:—বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতা কম হইলে বায়ু আরও জলীয় বাষ্প গ্রহণ করিতে পারে। এইজন্য আপেক্ষিক আর্দ্রতা কম হইলে ভিজা কাপড় তাড়াতাড়ি শুকায়। বাড়ীতে বায়ুচলাচলের জন্য যে ভেন্‌টিলেটর (ventilator) লাগান হয় তাহার উদ্দেশ্য দ্বিবিধ : (১) আমরা নিশ্বাসের সঙ্গে যে কার্বন ডাই-অক্সাইড ত্যাগ করি তাহা নিষ্ক্রান্ত হইতে দেওয়া, (২) আমাদের শরীর হইতে যে জলীয় বাষ্প নির্গত হয় তাহা নিষ্ক্রান্ত হইতে দেওয়া। ঘরের বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতা খুব বেশি হইলে স্বাস্থ্য ভাল থাকে না।

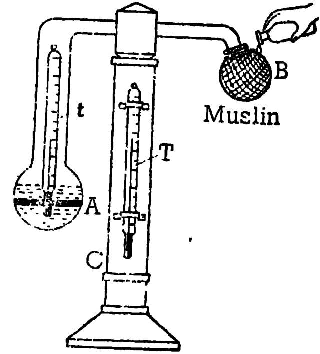
ভ্যাপ্‌সা ঘরে কাজ করিতে কষ্ট হয় তাহা আমরা জানি। ভ্যাপ্‌সা ঘরের অর্থই হইল যে তথাকার বায়ু বদ্ধ হইয়া আছে এবং উহাতে প্রচুর পরিমাণে জলীয় বাষ্প আছে। ঘরের বায়ু জলীয় বাষ্প দ্বারা সম্পৃক্ত থাকিলে আমাদের গাত্রচর্ম হইতে স্বাভাবিক বাষ্পায়ন বন্ধ হইয়া যায় এবং আমাদের অস্বস্তি লাগিতে থাকে। বায়ুর আর্দ্রতা বা শুষ্কতা সম্বন্ধে আমাদের অনুভূতি, বায়ুতে বর্তমান জলীয় বাষ্পের পরিমাণ এবং ঐ বায়ু সম্পৃক্ত হইতে প্রয়োজনীয় জলীয় বাষ্পের পরিমাণ এই দুইটির অনুপাতের উপর নির্ভর করে। অর্থাৎ **আর্দ্রতা বা শুষ্কতা সম্বন্ধীয় আমাদের শারীরিক বোধ নির্ভর করে আপেক্ষিক আর্দ্রতার উপর।** আর্দ্র আবহাওয়ার দিনগুলিতে বাংলাদেশের উষ্ণতা দিল্লীর উষ্ণতা অপেক্ষা 10°/15° ফা. কম থাকে। তবু তখন বাংলার আবহাওয়া অনেক বেশি কষ্টদায়ক হয়। বাংলাদেশের তুলনায় দিল্লী ইত্যাদি স্থানের বায়ু ঐ সময়ে অনেক বেশি শুষ্ক থাকে বলিয়াই এরূপ ঘটে। বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতা 100% হইলে সেখানে কোন বাষ্পায়ন ঘটিতে পারে না।

আপেক্ষিক আর্দ্রতা আবহাওয়া অফিসে নিয়মিত মাপা হয় এবং সংবাদপত্রে প্রকাশিত হয়। বৃষ্টি হইবে কি-না তাহা এই তথ্য হইতে বোঝা যায়। মনে রাখিও যে-কোন উষ্ণতায় সম্পৃক্ত জলবাষ্পের ঘনত্ব বায়ুর ঘনত্বের $\frac{5}{8}$ হয়।

৯৮। **হাইগ্রোমিটার** (hygrometer):—এই শব্দটির উৎপত্তি গ্রীক্ ভাষা হইতে। হাইগ্রস্ (*hygros*) অর্থ—ভিজা এবং মেট্রন (*metron*) অর্থ—মাপা। এইজন্য বায়ুর আর্দ্রতামাপক যন্ত্রের নাম হাইগ্রোমিটার রাখা হইয়াছে। হাইগ্রোমিটারের সাহায্যে কোন স্থানে কোন নির্দিষ্ট সময়ে বায়ুর আর্দ্রতা মাপা যায়। হাইগ্রোমিটার অনেক রকমের হইতে পারে—যেমন, শিশিরাঙ্ক হাইগ্রোমিটার (dew-point hygrometer), শুষ্ক ও সিক্ত বাল্‌ব হাইগ্রোমিটার (dry and wet bulb hygrometer), রাসায়নিক হাইগ্রোমিটার (chemical hygrometer), কেশ

*হাইগ্রোমিটার (hair hygrometer), ইত্যাদি, ইত্যাদি। ইহাদের কার্যনীতি বিভিন্ন। কিন্তু ইহাদের যে-কোন একটির সাহায্যেই বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতা মাপা যায়।

(ক) ডানিয়েলের হাইগ্রোমিটার (Daniell's hygrometer).—ইহা একটি শিশিরাঙ্কভিত্তিক হাইগ্রোমিটার। চিত্র ৫০এ ইহার একটি নমুনা দেখান হইয়াছে। A একটি কাঁচের তৈয়ারি বাল্ব। ইহার মধ্যস্থল বরাবর বহিঃপৃষ্ঠে একটি সোনালী রংএর ঘের আঁকা আছে। বাল্বটির মধ্যে কিছু তরল ইথার এবং উহাতে একটি থার্মোমিটারের (t) বাল্ব নিমজ্জিত থাকে। দুই বার সমকোণে বেঁকানো একটি কাঁচের নল দ্বারা A-বাল্বটি আর একটি বাল্ব (B)-এর সহিত যুক্ত। Bএর উপরে মস্লিন জড়ান আছে। C হইল যন্ত্রটি খাড়াভাবে ধরিয়া রাখিবার স্ট্যাণ্ড। এই স্ট্যাণ্ডের গায়ে বায়ুর তাপমাত্রা দেখার জন্য একটি থার্মোমিটার (T) থাকে। প্রথমতঃ বাল্ব Aতে ইথার রাখা হয় এবং সংযোগকারী নল ও B-বাল্ব ইথারবাষ্পে পূর্ণ থাকে। তারপর B-বাল্বে জড়ানো মস্লিনের উপর তরল ইথার ঢালিয়া দেওয়া হয়। ঐ ইথারের দ্রুত বাষ্পায়নের ফলে Bর ভিতরের ইথারবাষ্প ঠাণ্ডা হইয়া তরল ইথারে পরিণত হয়। ফলে A-বাল্বের ইথারের উপরিস্থ ইথারবাষ্পের চাপ হ্রাস পায় এবং তরলের ইথার হইতে আরও দ্রুত বাষ্পায়ন হইতে থাকে। দ্রুত বাষ্পায়নের ফলে তরল ইথার খুব তাড়াতাড়ি ঠাণ্ডা হয়। ইহার তাপমাত্রা বায়ুর শিশিরাঙ্কে নামিয়া গেলে A-বাল্বের বাহিরে বায়ুতে বর্তমান জলীয় বাষ্প শিশিরের আকারে বাল্বের গায়ে জমিতে থাকে। শিশির জমিতে শুরু করা মাত্র বাল্বের গায়ের সোনালী বেষ্টনীটি ঝাপ্সা হইতে আরম্ভ করে। ইথারে ডুবানো থার্মোমিটারের ঐ সময়ের পাঠই হইবে বায়ুর শিশিরাঙ্ক। B-বাল্বে ইথার ঢালা বন্ধ করিলে t-থার্মোমিটারে নির্দেশিত তাপাঙ্ক আবার ক্রমে বাড়িতে থাকিবে। যে তাপাঙ্কে শিশিরবিন্দুগুলি ঠিক ঠিক অদৃশ্য হইবে উহাও বায়ুর শিশিরাঙ্ক। শিশির যখন জমিতে সুরু করিল আবার যখন ঠিক অদৃশ্য হইল ঐ দুইটি তাপাঙ্কের গড়ই হইবে সম্ভাব্য শিশিরাঙ্ক। পর্যবেক্ষণে ত্রুটি থাকিতে পারে বলিয়াই এইরূপ গড় লইয়া যথার্থ শিশিরাঙ্ক নির্ণয় করা হয়।



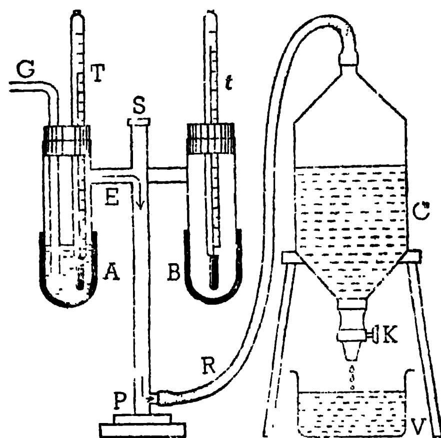
চিত্র ৫০—ডানিয়েলের হাইগ্রোমিটার

হাইগ্রোমিটার-যন্ত্রের কাছাকাছি কোথাও কোন জলধারা বা উন্মুক্ত জলপূর্ণ পাত্র রাখা ঠিক্ নয়। এমন কি আমাদের নিশ্বাসের সহিত যে জলীয় বাষ্প নির্গত হয় তাহাও যাহাতে যন্ত্রের চারিপাশের বায়ুর আর্দ্রতা না বাড়াইতে পারে ঐজন্য পরীক্ষাকারী ও যন্ত্রের মধ্যে একখানা কাঁচের পর্দা রাখা বাঞ্ছনীয়।

থার্মোমিটার T দ্বারা লেবরেটরির তাপমাত্রা মাপিতে হয় এবং t-থার্মোমিটার হইতে শিশিরাঙ্ক পাওয়া যায়। বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতা

$$\frac{\text{শিশিরাঙ্কে সম্পৃক্ত বাষ্পচাপ}}{\text{ঘরের উষ্ণতায় সম্পৃক্ত বাষ্পচাপ}}$$ [অনুচ্ছেদ ৯৬, সমীকরণ (৪) দ্রষ্টব্য]।

(খ) **রেঁনোর হাইগ্রোমিটার (Regnault hygrometer).**—ইহাও একটি শিশিরাঙ্কভিত্তিক হাইগ্রোমিটার। ডানিয়েলের যন্ত্র অপেক্ষা ইহা অনেক উন্নত ধরণের। চিত্র ৫১-তে রেঁনোর যন্ত্রের একটি নমুনা দেখান হইয়াছে। A ও B দুইটি একই মাপের মোটা টেস্ট টিউব। ইহাদের উপরাংশ কাঁচের এবং নিম্নাংশ রূপার তৈয়ারি।



চিত্র ৫১—
রেঁনোর হাইগ্রোমিটার।

দুইটি টিউবের মুখই ছিপিদ্বারা বন্ধ থাকে। A-টিউবের ছিপির মধ্য দিয়া থার্মোমিটার T এবং নল G, Aর প্রায় তলা পর্যন্ত গিয়াছে। B-টিউবের ছিপির মধ্য দিয়া থার্মোমিটার t, Bর তলা পর্যন্ত গিয়াছে। স্ট্যাণ্ড S একটি ফাঁপা নলবিশেষ। এই নল E-পথে A-টিউবের সহিত যুক্ত। নলটির নীচের দিকে আর-একটি পার্শ্বমুখ (P) আছে। উহা একটি এ্যাস্পিরেটরের (aspirator) উপরিভাগের সহিত একটি রবারের নল (R) দ্বারা যুক্ত। এ্যাস্পিরেটর (C) জলপূর্ণ থাকে। ইহার নীচে একটি স্টপ্-কক্ (K) লাগান আছে। কলটি খুলিলে জল নিম্নস্থ পাত্রে (V) পড়িতে থাকে।

A-টিউবের মধ্যে তরল ইথার রাখিয়া K-কলটি খুলিয়া দেওয়া হয়। ফলে এ্যাস্পিরেটরের বায়ুচাপ কমে এবং G নলপথে বাহিরের বায়ু এ্যাস্পিরেটরের

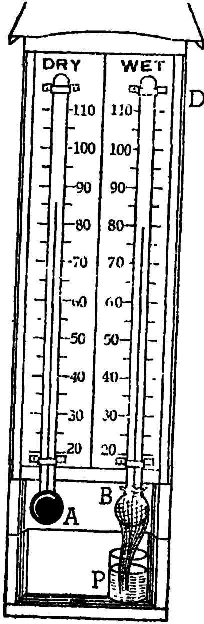
দিকে প্রবাহিত হয়। এই বায়ু A-টিউবের মধ্যস্থ তরল ইথারের মধ্য দিয়া প্রবাহিত হয় বলিয়া ঐ ইথার দ্রুত বাষ্পে পরিণত হইতে থাকে। বাষ্পায়নের ফলে তরল ইথারের উষ্ণতা হ্রাস পায়। উষ্ণতা বায়ুর শিশিরাঙ্কে পৌছিলে A-টিউবের রৌপ্যনির্মিত নিম্নাংশের বহির্ভাগে শিশির জমিতে দেখা যায়। শিশির যখন জমিতে সুরু করে, অথবা ঠিক যখন শিশির অদৃশ্য হয় (এ্যাস্পিরেটরের কল বন্ধ করিয়া দিলে), তখন থার্মোমিটার Tর পাঠ শিশিরাঙ্ক সূচিত করে। শিশিরাঙ্কের ঐ দুই পাঠের গড় যথার্থ শিশিরাঙ্ক বলিয়া ধরিতে হইবে। t-থার্মোমিটারের পাঠ ঘরের বায়ুর উষ্ণতা নির্দেশ করে। A-বাল্বটিতে শিশির জমিতে সুরু করিলে উহার ঔজ্জ্বল্য কমিয়া যায়। এই উজ্জ্বলতার হ্রাস তুলনা করিয়া সঠিকভাবে বুঝিবার জন্য টিউব B অনুরূপভাবে করা হয়। পরীক্ষাকারীকে A ও B উভয় টিউবের রৌপ্যাংশের উপরই দৃষ্টি রাখিতে হয়। Bর উপর কখনই শিশির জমে না। অতএব Bর তুলনায় A অস্পষ্ট হইতে সুরু করিলেই Aর উপর শিশির জমিতেছে বোঝা যাইবে। বায়ুবুদ্বুদ তরল ইথারের মধ্য দিয়া চলিতে থাকায় যে আলোড়ন হয় তাহাতে তরল ইথারের উষ্ণতা সর্বত্র সমতা লাভ করে। রৌপ্য তাপের উত্তম পরিবাহক বলিয়া A-টিউবের মধ্যস্থ ইথারের তাপমাত্রা এবং রৌপ্যাধারের বাহিরের বায়ুর তাপমাত্রা প্রায় একই হয়।

শিশির জমার প্রারম্ভ মুহূর্তটি সূক্ষ্মভাবে জানিতে হইলে বায়ুপ্রবাহ এমনভাবে নিয়ন্ত্রণ করা দরকার যাহাতে বায়ু ধীরে প্রবাহিত হয়। আগম নল Gর সহিত একটি রবারের নল লাগাইয়া উহাতে একটি চাপকল (pinch-cock) খাটাইয়া লইলে এই কাজে সুবিধা হয়। স্টপ্-কক্ Kও এমন হওয়া দরকার যাহাতে খুব অল্প অল্প করিয়া প্রয়োজনমত জল ফেলা যায়।

ঘরের উষ্ণতা ও শিশিরাঙ্ক নির্ণীত হইয়া গেলে অনুচ্ছেদ ৯৬র সমীকরণ (৪) অনুযায়ী আপেক্ষিক আর্দ্রতা নির্ণয় করা হয়।

(গ) শুষ্ক ও সিক্ত বাল্ব হাইগ্রোমিটার (Dry and Wet bulb hygrometer).—ইহাকে **ম্যাসনের** হাইগ্রোমিটারও বলা হয়। আমরা জানি যে, বাষ্পায়নের হার উপরিস্থ বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতার উপর নির্ভর করে। আপেক্ষিক আর্দ্রতা অধিক হইলে বাষ্পায়নের হার কম হয় এবং আপেক্ষিক আর্দ্রতা কম হইলে বাষ্পায়নের হার অধিক হয়। এই নীতির সাহায্যে (শিশিরাঙ্ক নির্ণয় না করিয়াও)

আপেক্ষিক আর্দ্রতা নির্ণয় করিবার জন্য যে যন্ত্র ব্যবহার করা হয় উহার নাম ম্যাসনের হাইগ্রোমিটার। D একটি খাড়া বোর্ড (চিত্র ৫২)। ইহার উপর পাশাপাশি দুইটি থার্মোমিটার খাড়া করিয়া লাগান আছে। আংটা Hএর সাহায্যে যন্ত্রটিকে দেওয়ালে ঝুলাইয়া রাখা হয়। বাম দিকের থার্মোমিটারের বাল্‌ব (A) সর্বদাই শুষ্ক অবস্থায় থাকে। বাল্‌ব Bর উপরে একখণ্ড মস্‌লিন জড়ান আছে। এই মস্‌লিনের নিম্নাংশ P-পাত্রস্থ জলে ডুবান থাকে। পাত্র P হইতে জল মস্‌লিন বাহিয়া উপরে ওঠে ও B-বাল্‌বটিকে সর্বদা সিক্ত রাখে। মস্‌লিন হইতে অবিরত বাষ্পায়নের ফলে সিক্ত বাল্‌বের উষ্ণতা শুষ্ক বাল্‌বের উষ্ণতা হইতে কম হয়। এই উষ্ণতার পার্থক্য বাষ্পায়নের হারের উপর নির্ভর করিবে। বাষ্পায়নের হার আবার বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতার উপর নির্ভর করে। আপেক্ষিক আর্দ্রতা কম হইলে শুষ্ক ও সিক্ত বাল্‌বের উষ্ণতার পার্থক্য অধিক হয়, আপেক্ষিক আর্দ্রতা বেশি হইলে শুষ্ক ও সিক্ত বাল্‌বের উষ্ণতার পার্থক্য অল্প হয়। বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতা শতকরা 100 হইলে ঐ উষ্ণতার পার্থক্য শূন্য হয়, অর্থাৎ শুষ্ক ও সিক্ত বাল্‌বের পাঠ একই হয়।



চিত্র ৫২—
শুষ্ক ও সিক্ত বাল্‌ব
হাইগ্রোমিটার।

শুষ্ক ও সিক্ত বাল্‌বের উষ্ণতার পাঠদ্বয় হইতে একটি বিশেষ চার্টের সাহায্যে বা বিশেষ সংকেতসূত্রের সাহায্যে বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতা নির্ণয় করা যায়। আরও উচ্চ মানের পুস্তকে ঐ প্রকার বিশেষ চার্ট এবং ঐ বিশেষ সংকেতসূত্রগুলি পাইবে।

৯৯। বায়ুমণ্ডলে জলীয় বাষ্পের ঘনীভবন :—বায়ুমণ্ডলের জলীয় বাষ্প ঘনীভূত হইয়া বিভিন্ন অবস্থায় মেঘ, বৃষ্টি, করকাপাত, তুষারপাত, শিলাবৃষ্টি, কুয়াশা, শিশির ইত্যাদি নানা প্রকার প্রাকৃতিক ঘটনা সৃষ্টি করে।

(ক) মেঘ, বৃষ্টি, করকাপাত, তুষারপাত, শিলাবৃষ্টি.—

মেঘ.—জলীয় বাষ্পসম্পৃক্ত (বা প্রায় সম্পৃক্ত) উষ্ণ বায়ু ঠাণ্ডা হইলে জলীয় বাষ্প ঘনীভূত হইয়া অসংখ্য জলবিন্দু সৃষ্টি করে। এইরূপ অসংখ্য জলবিন্দুমিশ্রিত জলীয়

বাষ্পের নাম মেঘ। জলীয় বাষ্পসম্পৃক্ত উষ্ণ বায়ু স্বাভাবিক বায়ু অপেক্ষা হাল্কা। উহা উর্ধ্বে উঠে এবং নিম্ন চাপের বলয়ে প্রবেশ করা হেতু প্রসারিত হয়। উর্ধ্বে তাপমাত্রা কম এবং প্রসারণের ফলে বায়ুর তাপমাত্রা আরও কমে। এইরূপে উর্ধ্বমুখী জলীয় বাষ্পসম্পৃক্ত বায়ু ঠাণ্ডা হয়। নানা ধরণের মেঘ দেখা যায়। বিভিন্ন পরিস্থিতিতে উৎপন্ন হওয়ার দরুণ মেঘের ধরণ বিভিন্ন প্রকারের হয়।

বৃষ্টি।—বায়ুমণ্ডলের অনতি-উচ্চ বায়ুস্তর জলীয় বাষ্পে সম্পৃক্ত থাকিলে অর্থাৎ অনতি-উচ্চ বায়ুস্তরে মেঘ থাকিলে উহা ঠাণ্ডা হইয়া যখন অসংখ্য জলকণা সৃষ্ট হয় তখন অনেকগুলি জলকণা একত্র লইয়া বড় বড় ফোঁটা সৃষ্টি করিতে পারে এবং অভিকর্ষের বলে মাটির দিকে নামিয়া আসিতে পারে। ইহাকেই আমরা বৃষ্টি বলি।

করকাপাত (sleeting).—বৃষ্টির পড়ন্ত জলকণাগুলি ভূপৃষ্ঠে পৌছিবার পূর্বেই আরও ঠাণ্ডা হইয়া জমিয়া গেলে বৃষ্টিপাত করকাপাতে পরিণত হয়।

তুষারপাত (snowing).—কোন জলীয় বাষ্প সম্পৃক্ত বায়ুস্তর অত্যন্ত ঠাণ্ডা হইয়া পড়িলে মেঘের ছোট ছোট জলকণাগুলি একত্র হইয়া বৃষ্টিপাতের পূর্বেই জমিয়া বরফ হইতে পারে এবং তুষারের আকারে ঝরিয়া পড়িতে পারে। তখন হয় তুষারপাত।

বরফশিলা বা শিলাবৃষ্টি (hail).—বৃষ্টির জলকণা একত্র হইয়া বড় বড় ফোঁটায় পরিণত হইয়া যাওয়ার পর অতিরিক্ত ঠাণ্ডায় ফোঁটাগুলি জমিয়া গেলে বরফশিলা গঠিত হয়। কখনও কখনও দেখা যায় যে, বরফশিলার একস্তরে থাকে স্বচ্ছ বরফ ও পরের স্তরে থাকে অস্বচ্ছ তুষার। ঝঞ্ঝাপাতের মধ্যে তীব্র বায়ুপ্রবাহ দ্বারা তাড়িত হইয়া বরফ-শিলাগুলি তুষার ও বৃষ্টির স্তরের মধ্য দিয়া দ্রুত উপরে নীচে ওঠা-নামা করিলে ঐরূপ হইয়া থাকে।

(খ) কুয়াশা।—কুয়াশা ঘন (fog) বা পাতলা (mist) হইতে পারে। ভূপৃষ্ঠের সন্নিকটে ধূলি ময়লার জলশোষক কণার উপর জলীয় বাষ্প ঘনীভূত হইয়া এক প্রকারের মেঘ তৈয়ারি হয়, উহারই নাম কুয়াশা। যে-কোন ধরণের ময়লা বা ধূলিকণার উপরে জলীয় বাষ্প ঘনীভূত হয় না। কেন্দ্রটি যথোপযুক্ত হওয়া চাই। শিল্প এলাকায় নানা আকারের প্রচুর অপ-পদার্থকণা বায়ুতে ভাসন্ত থাকে। ঐসব স্থানে ঘনীভবনক্রিয়ার উপযুক্ত কেন্দ্র পর্যাপ্ত পরিমাণে বর্তমান থাকে। শিল্প এলাকায় তাই কুয়াশা হয় খুব ঘন।

বায়ুর উষ্ণতা শিশিরাঙ্কের নীচে না নামিলে কুয়াশা গঠিত হয় না। মেঘ ও কুয়াশা একই প্রক্রিয়ায় গঠিত হয়। তবে বায়ু স্থির (বা প্রায় স্থির) না থাকিলে কুয়াশা গঠিত

হয় না। মেঘ গঠনের জন্য বায়ু স্থির থাকা একান্ত আবশ্যক নয়। কুয়াশাকে নিশ্চল মেঘপুঞ্জ আখ্যা দেওয়া হয়।

মধ্যাহ্নের পূর্বে সাধারণতঃ কুয়াশা শেষ হইয়া যায়। ইহার কারণ এই যে, বেলা বাড়িলে বায়ুর উষ্ণতা বাড়ে এবং বায়ু অসম্পৃক্ত হইয়া পড়ে। কুয়াশার অন্তর্গত জল-কণাগুলি এই অসম্পৃক্ত বায়ুতে পুনরায় বাষ্পায়িত হয় এবং কুয়াশা কাটিয়া যায়।

উষ্ণ অসম্পৃক্ত বায়ু ঊর্ধ্বে যাইতে যাইতে কখনও কখনও শীতল পর্বতচূড়ার সংস্পর্শে আসিয়া ঠাণ্ডা হইয়া সম্পৃক্ত হইয়া পড়ে। তখন পর্বতচূড়া ঘন কুয়াশায় আবৃত হইয়া যায়। কখনও বা শীতের রাত্রে পর্বতচূড়া হইতে অপেক্ষাকৃত ভারি শীতল বায়ু পর্বতের ঢাল বাহিয়া নিবাত উপত্যকায় উপনীত হয়। তখন তথাকার আর্দ্র বায়ু শীতল হইয়া সম্পৃক্ত হয় এবং উপত্যকা ঘন কুয়াশায় আচ্ছন্ন হয়।

(গ) **শিশির** (dew).—শিশির-পড়া সম্বন্ধে ওয়েলস্‌এর মতবাদ নিম্নোক্ত রূপ: দিনমানে পৃথিবীপৃষ্ঠ সূর্যকিরণে উত্তপ্ত হইয়া উঠে। ফলে উহার সংলগ্ন আর্দ্র বায়ুও অনেকটা উত্তপ্ত হয়। রাত্রে তাপ-বিকিরণের (radiation) ফলে পৃথিবীপৃষ্ঠের সকল বস্তুই ক্রমে শীতল হয় এবং রাত্রিশেষে ভূপৃষ্ঠের উষ্ণতা বায়ুমণ্ডলের বায়ুর উষ্ণতা অপেক্ষা কম থাকে। যে সকল বস্তু উত্তমরূপে তাপ বিকিরণ করিতে পারে সেগুলি দ্রুত ঠাণ্ডা হয়। উহাদের সংলগ্ন বায়ু ইহাতে অধিক ঠাণ্ডা হইয়া শিশিরাঙ্কে উপনীত হয়। উষ্ণতা তদপেক্ষা আর-একটু কমিলেই ঐ বায়ুর জলীয় বাষ্প বস্তুটির সংলগ্ন পৃষ্ঠের উপর শিশিরের আকারে জমা হয়। শীতকালে ইহা সম্ভব। নির্মেঘ আকাশ, স্তব্ধ বায়ুমণ্ডল এবং উপযোগী বস্তু শিশির পড়ার পক্ষে আবশ্যক। আকাশ নির্মেঘ থাকিলে ভূপৃষ্ঠের বস্তুর তাপ বিকিরণ হয় তাড়াতাড়ি। বায়ু স্তব্ধ থাকিলে বস্তুর সংলগ্ন বায়ুস্তর স্থির থাকে ও দ্রুত ঠাণ্ডা হইতে পারে। শিশিরপাতের উপযোগী বস্তু বলিতে নিম্নলিখিত গুণগুলি বুঝান হয়—(১) ইহাকে উত্তম তাপবিকিরক হইতে হইবে যাহাতে বস্তুটি তাড়াতাড়ি ঠাণ্ডা হইতে পারে।

(২) ইহা তাপের কুপরিবাহক হওয়া দরকার। তবেই বস্তুটি বিকিরণ দ্বারা যতটা তাপ হারাইবে পরিবহনে ভূমি হইতে তাহা অপেক্ষা অনেক কম তাপ লাভ করিবে। ঠাণ্ডা হাওয়ার জন্য ইহা অপরিহার্য।

(৩) বস্তুটি ভূমিসংলগ্ন হইবে। কারণ, বস্তুটি ভূপৃষ্ঠের ঊর্ধ্বে থাকিলে সংলগ্ন শীতল বায়ু শিশিরাঙ্কে পৌঁছিবার পূর্বেই নিম্নে নামিয়া আসিবে এবং অধিকতর উষ্ণ বায়ু উহার স্থান অধিকার করিবে। ফলে বাষ্প ঘনীভূত হইতে পারিবে না। গাছের পাতা অপেক্ষা ঘাসের উপর অনেক বেশি শিশির পড়ার ইহা অন্যতম কারণ।

কেহ কেহ বলেন যে শিশির শুধু বায়ুর অন্তর্গত জলীয় বাষ্প হইতেই হয় না, কোন বস্তু হইতে উত্থিত জলীয় বাষ্পও শিশির আকারে ঐ বস্তুর উপর জমা হইতে পারে।

Examples

1. At a certain time on a day, the air temperature was found to be 16°C. when the Daniell's hygrometer had shown the dew-point to be 12°C. What was the R. H. then ?

উত্তর : বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতা $= \dfrac{\text{শিশিরাঙ্কে জলের সম্পৃক্ত বাষ্পচাপ}}{\text{বায়ুর উষ্ণতায় জলের সম্পৃক্ত বাষ্পচাপ}} = \dfrac{10.51}{13.62} = 0.77$, বা 77%।

2. In a Regnault's hygrometer the mean value of the readings of the thermometer in the hygrometer tube was 7·6°C. while the theremometer in the other tube gave a steady reading of 16°C. Calculate the R. H. of the air, given that the saturation vapour pressures of water at 16°C., 8°C. and 7°C. are 13·5 mm., 8 mm., 7·5 mm. respectively.

উত্তর : 8° সে তে জলের সম্পৃক্ত বাষ্পচাপ = 8 মি.মি. এবং 7° সে তে 7·5 মি.মি. ; অর্থাৎ, 1° সে. উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য বাষ্পচাপ বাড়ে 0·5 মি.মি.। বাষ্পচাপবৃদ্ধি উষ্ণতাবৃদ্ধির সহিত আনুপাতিক ধরিয়া লইলে, 0·6° সে. উষ্ণতাবৃদ্ধির জন্য বাষ্পচাপ বাড়িবে $0.6 \times 0.5 = 0.3$।

অর্থাৎ, 7·6° বা (7° + 0·6°) সে.এর বাষ্পচাপ হইবে $(7.5 + 0.3) = 7.8$ মি.মি.।

উপরোক্ত পরীক্ষায় শিশিরাঙ্ক = 7·6° সে. এবং বায়ুর উষ্ণতা = 16° সে।

$$\text{বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতা} = \frac{\text{শিশিরাঙ্কে জলের সম্পৃক্ত বাষ্পচাপ}}{\text{বায়ুর উষ্ণতায় জলের সম্পৃক্ত বাষ্পচাপ}} = \frac{7.8}{13.5} = 0.577,$$

বা 57·7%।

Exercises

1. Why does a glass tumbler 'cloud over' on the outside when ice-cold water is poured inside ?

2. The temperature of a summer day is generally much higher than that of a winter day, but still a cloth dries up more quickly on a winter day. Why ?

3. A hot day at Puri is more discomforting than a hotter day in Delhi. Explain why ?

4. Define dew-point and absolute humidity. Explain how relative humidity depends on the dew-point and the ambient air temperature.

5. Define relative humidity. On what factors does it depend ? Obtain a formula or expression for its determination.

6. Describe Regnault's hygrometer bringing out its special features as compared with a Daniell's hygrometer.

7. Describe a dry and wet bulb hygrometer giving the method of its use for determining the hygrometric state of air.

* 8. At one time on a day the temperature of the air was found to be 17°C. and the dew-point determined with a Regnault's hygrometer was 12°C. Find the R. H. of the air at that time. Take maximum vapour pressure of water at 17°C. and 12°C. to be 1·442 cm. and 1·046 cm. of Hg. respectively. উত্তর : 0·72 ।

* 9. One day, at a time when the temperature of the air was 16·5°C., the dew-point was found to be 12°C. What was the R. H. at the time ? Take saturation vapour pressure of water at 12°C., 16°C. and 17°C. to be 1·046 cm., 1·364 cm. and 1·442 cm. of Hg. respectively. উত্তর : 74·5%, (প্রায়) ।

10. Explain the difference between clouds and fogs. Why does a morning fog generally disappear before noon ?

11. Explain how hail is formed. Why do hailstones, sometimes, have alternate non-transparent and transparent layers ?

12. Discuss the formation of dew. Narrate the conditions which favour copious deposit of dew.

13. Explain the statements—

(*a*) Dew is formed on grass leaves much more copiously than on the tree leaves. (*b*) Cloudless nights are better than cloudy ones for dew to deposit.

14. Write an essay narrating and explaining the different types of condensation of water vapour in nature.

অষ্টম পরিচ্ছেদ

তাপ-সঞ্চালনের বিভিন্ন পদ্ধতি

পরিবহন, পরিচলন ও বিকিরণ

(Conduction, Convection and Radiation)

১০০। **তাপ-সঞ্চালনের তিন পদ্ধতি** :—এক স্থান হইতে অন্য স্থানে তাপ-সঞ্চালন তিন প্রকারের পৃথক ধরণ বা পদ্ধতিতে হইতে পারে, যথা—পরিবহন, পরিচলন ও বিকিরণ।

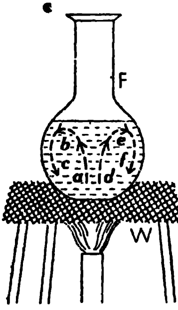
(১) **তাপ-পরিবহন।**—ধাতব পাত্রে গরম জল ঢালিলে পাত্রের বহিঃপৃষ্ঠও গরম হইয়া ওঠে। ইহার কারণ এই যে, ধাতব পাত্রের দেওয়ালের মধ্য দিয়া ভিতর হইতে বাহিরে তাপ সঞ্চালিত হইতে পারে। একটি ধাতব দণ্ডের একপ্রান্ত আগুনে প্রবেশ করাইয়া অন্য :প্রান্ত হাতে ধরিয়া রাখিলে হাতে গরম লাগে। ইহার কারণ হইল, আগুনের তাপ দণ্ডটির একপ্রান্ত হইতে অন্য প্রান্তে দণ্ডটির পদার্থের মধ্য দিয়া সঞ্চালিত হয়। রোগীর জ্বরতপ্ত গাত্রে হাত রাখিলে হাতে গরম বোধ হয়। এক্ষেত্রেও তাপ জ্বর-তপ্ত গাত্র হইতে হাতে সঞ্চালিত হয়। এইরূপে তাপ কোন পদার্থের উষ্ণ অংশ হইতে শীতল অংশে বা কোন পদার্থ হইতে উহার সহিত সংযুক্ত কোন শীতল পদার্থে পদার্থমাধ্যমের কণাগুলির স্থানচ্যুতি না ঘটাইয়া সঞ্চালিত হইলে ঐরূপ সঞ্চালন পদ্ধতিকে তাপ-পরিবহন বলে। তাপ-পরিবহনের জন্য পদার্থমাধ্যমটি নিরবচ্ছিন্ন হইলে সর্বোত্তম হয়। তাই পদার্থ কঠিন অবস্থায় তাপ-পরিবাহী হয় সর্বাপেক্ষা বেশি, তরল অবস্থায় কম এবং গ্যাসীয় অবস্থায় অত্যন্ত কম।

তাপের পরিবহন কেমন করিয়া ঘটে? মনে কর, একদল ছেলে সোজা এক লাইনে দাঁড়াইল এবং প্রতিটি ছেলে হাত হেলাইয়া আগের ছেলেটির নিকট হইতে একটি ইট লইল এবং অন্য দিকে হাত হেলাইয়া ঐ ইট পরের ছেলেটির নিকট পার করিয়া দিল। তাপ-পরিবহনে পদার্থের অণুগুলি ঐ বালকদের মতই আচরণ করে। অণুগুলির নিজ নিজ অবস্থান ঠিক থাকে কিন্তু, তাপের ক্রিয়ায় ইহারা ইতস্ততঃ স্পন্দিত হয়। একটি অণু উহার পার্শ্ববর্তী উষ্ণতর অণু হইতে তাপ নিয়া উহার অন্য পার্শ্বের কম উষ্ণ অণুকে ঐ তাপ প্রদান করে। তাপ ত্যাগ করিয়া আবার প্রারম্ভিক অবস্থায় ফিরিয়া আসে। পুনঃপুনঃ একই প্রক্রিয়া ঘটে। তাই বুঝিতেছ যে, কেবলমাত্র পদার্থমাধ্যমের ক্ষেত্রেই এইরূপ প্রক্রিয়া সম্ভব।

(২) **তাপ-পরিচলন।**—উষ্ণ পদার্থকণা অপেক্ষাকৃত শীতল স্থানে তাপ বহন করিয়া লইয়া যাইতে পারে। এইপ্রকার তাপ-সঞ্চালনের প্রক্রিয়াকে তাপ-পরিচলন বলা হয়। তরল বা গ্যাস জাতীয় পদার্থের ক্ষেত্রে এইরূপ প্রক্রিয়া সম্ভব।

মনে কর, একটি পাত্রে কিছু তরল পদার্থ রাখা হইল। ঐ তরল পদার্থের তলদেশে তাপ দেওয়া হইলে ঊর্ধ্বস্তরগুলি তাপ-পরিচলন ক্রিয়ায় উত্তপ্ত হয়। একটি কাঁচের নলের মধ্য দিয়া কয়েকটি দানা পটাসিয়াম পারম্যাঙ্গানেট ঐ তরল পদার্থের তলায় ফেলিয়া

দিলে তরল পদার্থের মধ্যে তাপের ক্রিয়ায় কি ঘটে তাহা প্রত্যক্ষ করা যায়। নীচের জলকণাগুলি (চিত্র ৫৩এর a ও dতে অবস্থিত, মনে কর) পটাসিয়াম পারম্যাঙ্গানেট দ্বারা রঞ্জিত হইয়া ab ও de পথে উপরে উঠিয়া যাইতেছে সূচিত হইয়াছে। তারপর আবার bc ও ef পথে নীচে নামিয়া আসিতেছে। নীচের তরল পদার্থ উত্তপ্ত হইয়া হাল্কা হইয়া যায়। ঐ উষ্ণ হাল্কা তরল পদার্থ উপরে ওঠে এবং উপর হইতে অপেক্ষাকৃত ভারি (উষ্ণতা কম বলিয়া) তরল পদার্থ নীচে নামিয়া আসিয়া উষ্ণ কণাগুলির স্থান দখল করে। এইভাবে যে চলাচল-প্রবাহের সৃষ্টি হয় উহাকে **পরিচলন-প্রবাহ** (convection currents) বলা হয়। পরিচলন-প্রবাহ তরল পদার্থের বিভিন্ন অংশকে মিশ্রিত ও আলোড়িত করিয়া অবশেষে সর্বত্র সমান উষ্ণতার সৃষ্টি করে। যতক্ষণ তরল পদার্থের উষ্ণতা নীচে বেশি ও উপরে কম থাকিবে ততক্ষণ পরিচলন-প্রবাহের দ্বারা কণাগুলি একস্থান হইতে অন্য স্থানে তাপ বহন করিয়া লইয়া যাইবে। সর্বত্র সমউষ্ণতা প্রতিষ্ঠিত হইলে পরিচলন-প্রবাহ বন্ধ হইবে।



চিত্র ৫৩

গ্যাসের মধ্যে প্রধানতঃ পরিচলন-প্রবাহের সাহায্যেই তাপসঞ্চালন ঘটিয়া থাকে। একটি অগ্নিশিখার ঊর্ধ্বে হাত রাখিলে হাতে গরম বোধ হয়। এক্ষেত্রে অগ্নিশিখা হইতে যে তাপ হাতে গিয়া পৌছে উহার অধিকাংশই (খানিকটা তাপবিকিরণ-পদ্ধতিতে সঞ্চালিত হয়) পরিচলন-প্রবাহের সাহায্যে নীত হয়। অগ্নিশিখার দ্বারা তপ্ত হইয়া বায়ু হাল্কা হয় এবং ঐ উত্তপ্ত বায়ু উপরে উঠে। এইভাবে হাত গরম হয়।

একদল ছেলে সোজা একলাইনে দাঁড়াইয়া প্রত্যেকে নিজ নিজ স্থানে থাকিয়া হাতে হাতে ইট লাইনের এক প্রান্ত হইতে অপর প্রান্তে পাঠাইতেছে এই পরিকল্পনা পূর্বেই উপস্থিত করা হইয়াছে। ছেলেরা যে যাহার জায়গায় থাকিয়া ইট পার করিয়া দিলে প্রক্রিয়াটিকে তাপের পরিবহনের সহিত তুলনা করা হইয়াছে। আর যদি প্রতিটি ছেলে স্তূপ হইতে ইট হাতে লইয়া নিজেই সরাসরি যথাস্থানে উহা পৌছাইয়া দেয় তবে এই পদ্ধতিকে তাপ-পরিচলনের সহিত তুলনা করা যায়।

তাপের পরিচলনও পদার্থমাধ্যম ছাড়া ঘটিতে পারে না। শূন্য স্থানের মধ্য দিয়া তাপের পরিচলন সম্ভব নয়।

(৩) **বিকিরণ।**—কোন উত্তপ্ত পদার্থ হইতে অপেক্ষাকৃত শীতল পদার্থে তাপ সঞ্চালিত হইবার কালে মধ্যবর্তী স্থান (পদার্থশূন্যই হউক বা পদার্থপূর্ণই হউক) উত্তপ্ত না হইলে তাপ-সঞ্চালনের ঐ প্রক্রিয়াকে বিকিরণ বলা হয়।

সূর্য হইতে তাপ বিকিরণের সাহায্যে পৃথিবীতে উপনীত হয়। সৌরতাপরশ্মি কোটি কোটি মাইল পথ অতিক্রম করিয়া পৃথিবীতে পৌছায়। এই পথে পৃথিবীর বায়ুমণ্ডল ছাড়া অন্য আর কোথায়ও কঠিন, তরল বা বায়বীয় কোন পদার্থ নাই। তাই তাপ-সঞ্চালনের ইহা একটি স্বতন্ত্র ধরণ। ইহারই নাম বিকিরণ। ইহাতে মধ্যবর্তী স্থান উত্তপ্ত না হইয়া এক উষ্ণতর স্থান হইতে কম-উষ্ণ স্থানে তাপ সঞ্চালিত হয়।

নানাবিধ পরীক্ষার সাহায্যে প্রমাণ করা হইয়াছে যে, আলো ও তাপের বিকিরণ একই পদ্ধতিতে সংঘটিত হয় এবং উভয়ের গতিবেগ সমান। তাই সূর্যগ্রহণের সময় আমরা সূর্যের আলো ও তাপ উভয়ই একসঙ্গে হারাই। সূর্য হইতে আলো যেভাবে পৃথিবীতে আসে তাপও সেইভাবেই আসে। আলো ও তাপের এই প্রকারের সাদৃশ্যের জন্যই আমরা বলিব যে, সূর্য হইতে আমরা বিকিরণের সাহায্যে তাপ পাই।

কোন আগুন বা চুল্লী বা উত্তপ্ত বস্তুর পার্শ্বে দাঁড়াইলে আমরা বিকিরণের সাহায্যেই অধিকাংশ তাপ লাভ করি। একটি ত্রিপাদধানীর উপর একখানি তারের জালি রাখিয়া ইহার উপরে একটি উত্তপ্ত বল রাখ। এখন জালির নীচে হাত রাখ, তবু দেখিবে হাত গরম হইয়া উঠিবে। বায়ু তাপের খুবই মন্দ পরিবাহক। তাই লব্ধ সমুদয় তাপই পরিবহনের সাহায্যে হাতে আসিতে পারে না। আবার উপর হইতে নীচে পরিচলনের সাহায্যেও তাপ আসিতে পারে না, কারণ উত্তপ্ত বায়ু হাল্কা হইয়া উপরেই উঠিবে, নীচে নামিবে না। অতএব এক্ষেত্রে অনেকটা তাপ অন্য কোন উপায়ে হাতে পৌছাইতেছে। এই তৃতীয় পদ্ধতিটিরই নাম বিকিরণ।

কঠিন পদার্থের মধ্য দিয়া তাপ প্রধানতঃ পরিবহনের সাহায্যে সঞ্চালিত হয়। তরল ও গ্যাসীয় পদার্থের মধ্য দিয়া উহা প্রধানতঃ পরিচলনের সাহায্যে সঞ্চালিত হয়। তরল ও গ্যাসের তাপ-পরিবহন ক্ষমতা খুব কম। ইহাদের মধ্য দিয়া বিকিরণ পদ্ধতিতেও কিছু তাপ সঞ্চালিত হইতে পারে। বিকিরণের জন্য কোন পদার্থমাধ্যমের প্রয়োজন হয় না; বিকিরণ পদার্থবিহীন শূন্যের মধ্য দিয়াও ঘটিতে পারে। পরিচলন ও পরিবহন অপেক্ষাকৃত ধীর প্রক্রিয়া; বিকিরণে তাপ অতিদ্রুত স্থানান্তরিত হয়। শূন্য মাধ্যমে বিকিরণ-প্রক্রিয়ায় তাপ-সঞ্চালনের গতিবেগ হইল 186,000 মাইল প্রতি সেকেণ্ডে। পদার্থের মধ্য দিয়া গেলে এই গতিবেগ কিছু কম হয়।

তাপ-পরিবহন (Conduction)

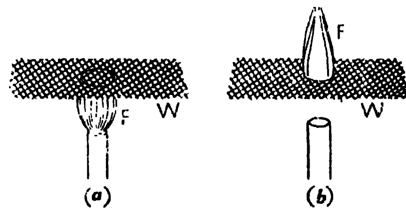
১০৯। সুপরিবাহী পদার্থ ও কুপরিবাহী পদার্থ (Good and bad conductors) :—অনেক পদার্থ আছে যাহাদের তাপ-পরিবহন ক্ষমতা অপেক্ষাকৃত বেশি। ইহাদের সুপরিবাহী পদার্থ (good conductors) বলা হয়। সকল ধাতুই সুপরিবাহী। ইহাদের মধ্যে রূপা সর্বোত্তম। আবার অনেক পদার্থ আছে যাহাদের তাপ-পরিবহন ক্ষমতা অপেক্ষাকৃত অনেক কম। ইহাদের তাপের কুপরিবাহী পদার্থ (bad conductors) বলা হয়। কাঁচ কুপরিবাহী। টি-পটের রৌপ্য হাতলের উপর কাঁচ বা অন্য কোন কুপরিবাহী বেষ্টনী লাগান হয়। কাঠ, আবলুশ, বেত, ইত্যাদিও তাপের মন্দ পরিবাহক। সাধারণ কেত্‌লীর ধাতব হাতলে এই প্রকারের কোন না কোন কুপরিবাহী বেষ্টনী লাগান থাকে দেখিয়া থাকিবে। এই প্রকারের বেষ্টনী আবশ্যক, কেন-না তাহা হইলে তাপ হাতল হইতে হাতে তাড়াতাড়ি সঞ্চালিত হইতে পারিবে না। অভ্র (mica), অ্যাস্‌বেস্টস্‌ (asbestos), সাদা মার্বেল, পোর্সিলেন, ইত্যাদি পদার্থ সর্বোত্তম কুপরিবাহী বা প্রায় অপরিবাহী।

পুরু কাঁচের কোন পাত্রে ফুটন্ত গরম জল বা গরম দুধ ঢালিয়া দিলে ঐ পাত্র অনেক সময় ফাটিয়া যায়। ইহার কারণ কাঁচ কুপরিবাহী এবং তাই পুরু গাত্রের মধ্য দিয়া বেশি তাপ অল্প সময়ে বহির্গত হইতে পারে না। ফলে, ভিতরের পৃষ্ঠ উত্তপ্ত হইয়া হঠাৎ প্রসারিত হয় অথচ বাহিরের পৃষ্ঠ ততটা প্রসারিত হয় না। এইরূপ প্রসারণ-বৈষম্যের জন্য পাত্রটির বিকৃতি ঘটে; ফলে পাত্র ফাটিয়া যাইতে পারে। মধ্য আমেরিকায় বাল্‌সা কাঠ (Balsa wood) নামে এক প্রকারের কাঠ জন্মে। এই কাঠ বেশ হাল্‌কা এবং তাপের কুপরিবাহী। জাহাজের হিমকক্ষের (cold storage) দেওয়াল এই কাঠ দ্বারা তৈয়ারি হয়। শূন্যের মধ্য দিয়া তাপ একেবারেই পরিবাহিত হইতে পারে না। সাধারণ পদার্থের মধ্যে বায়ুর তাপ-পরিবহন ক্ষমতা (বা তাপ-পরিবাহিতা) অত্যন্ত কম। সাধারণভাবে বলিতে গেলে সমস্ত গ্যাসীয় পদার্থই তাপের মন্দ পরিবাহক। যে সকল পদার্থের অভ্যন্তরে প্রচুর বায়ুছিদ্র (air pores) থাকে উহারাও তাপের মন্দ পরিবাহক হয়। কর্ক, ফেল্ট, ফ্লানেল, তুলা, কাঁচের উল, প্রসারিত রবার, ইত্যাদি হইল নিতান্ত মন্দ তাপ-পরিবাহকের কতকগুলি দৃষ্টান্ত। সাধারণ তরল পদার্থও (যেমন জল, কোহল, গ্লিসারিণ, প্যারাফিন, ইত্যাদি) তাপের কুপরিবাহী। কিন্তু পারদ ও যে-কোন প্রকারের তরল ধাতু তাপের উত্তম পরিবাহক।

কোন মন্দ পরিবাহক দ্বারা ঘিরিয়া রাখিলে উত্তপ্ত পদার্থ গরম থাকিবে, শীতল পদার্থ শীতলই থাকিবে। কারণ মন্দ পরিবাহকের মধ্য দিয়া তাপ চলাচল তাড়াতাড়ি হইবে না। শীতকালে উলের কাপড়চোপড়ে গা ঢাকা থাকিলে শরীরের তাপ ঐ বেষ্টনীর মধ্য দিয়া তাড়াতাড়ি পরিবাহিত হইয়া বহির্ভাগে শীতল বায়ুতে নীত হইতে পারে না। গ্রীষ্মকালেও ঐরূপ বস্ত্রগুলি পরিধান করিলে বাহিরের উত্তপ্ত বায়ু হইতে তাপ শীতল শরীরে তাড়াতাড়ি প্রবেশ করিতে পারিবে না সত্য, কিন্তু মুস্কিল হইবে এই যে, এইরূপ বস্ত্রের মধ্য দিয়া ঘর্মবাষ্প সহজে শরীর হইতে বায়ুতে নির্গত হইতে পারিবে না। প্রয়োজনীয় বাষ্পায়ন রুদ্ধ হওয়ায় অস্বস্তিবোধ বাড়িবে। তাই গ্রীষ্মকালে কেহ ঐরূপ আচ্ছাদন ব্যবহার করে না। লক্ষ্য করিয়াছ যে, সংরক্ষণের জন্য সাধারণত বরফ কাঠের গুঁড়া দিয়া ঢাকিয়া রাখা হয়। এইরূপ করিলে, কাঠের গুঁড়া তাপের কুপরিবাহী বলিয়া বাহিরের তাপ সহজে উহার মধ্য দিয়া বরফে প্রবেশ করিতে পারে না এবং বরফ তাড়াতাড়ি গলিয়া নষ্ট হয় না।

এই পুস্তকের দ্বিতীয় খণ্ডে বিদ্যুৎবিজ্ঞান আলোচনা করিবার সময় বিদ্যুৎপরিবাহী পদার্থসম্বন্ধে সবিশেষ বলা হইবে। এখানে মনে রাখিবে যে, যে সমুদয় পদার্থ বিদ্যুতের উত্তম পরিবাহক উহারা তাপেরও উত্তম পরিবাহক হয়।

১০২। ধাতব পদার্থের উত্তম পরিবহন-ধর্মের কয়েকটি দৃষ্টান্তঃ— কোন দাহ্য কঠিন, তরল বা গ্যাসীয় পদার্থকে তাপ দিয়া উত্তপ্ত করিতে থাকিলে জ্বলনাঙ্কে (ignition point) পৌঁছিবামাত্র উহা জ্বলিয়া উঠে। জ্বলনের প্রক্রিয়ায় ঐ পদার্থের বিভিন্ন দাহ্য উপাদানগুলি অক্সিজেনের সহিত মিলিত হয়। এই প্রক্রিয়াকে দহন (combustion) বলা হয়; দাহ্য পদার্থটি নিঃশেষ না হওয়া পর্যন্ত (বা অক্সিজেন সরবরাহ বন্ধ না হইলে) জ্বলন অব্যাহত থাকে।



চিত্র ৫৪

(১) তাম্রজালি (copper gauze) ও মোমবাতির পরীক্ষা।—একটি মাঝারি-ঘন তামার তারের জালি নাও (চিত্র ৫৪)। একটি স্পিরিট ল্যাম্পের বা মোমের অগ্নিশিখার উপর তাম্রজালিটি ধীরে ধীরে নামাইতে থাক [চিত্র ৫৪(a) দেখ]। দেখিবে যে শিখাটি কোন ক্ষেত্রেই তাম্রজালির ঊর্ধ্বে উঠিবে না, তাম্রজালি নামাইতে নামাইতে শেষ পর্যন্ত শিখাটি নিভিয়া

যাইতে পারে, তবু শিখা জালির উপরে উঠিবে না। ইহার কারণ এই যে, অগ্নিশিখার তাপ তাম্রজালি দ্বারা দ্রুত পরিবাহিত হইয়া সকল দিকে বিস্তৃত হইয়া পড়িবে, ফলে জালির উপরিস্থ স্পিরিট্ বাষ্প কখনই জ্বলনাঙ্কের তাপমাত্রা লাভ করিবে না। জালিখানি খুব নীচে নামাইলে দহনের পরিমাণ হয় সামান্য (দাহ্য গ্যাস এবং বায়ু বা অক্সিজেন সরবরাহ কম হয় বলিয়া), তাই সৃষ্ট তাপে চতুর্দিকের বায়ুর উষ্ণতা যথেষ্ট বৃদ্ধি পায় না এবং শেষ পর্যন্ত দহন বন্ধ হইয়া যায়। এই পরীক্ষার সাহায্যে বোঝা যায় যে তামা তাপের একটি উত্তম পরিবাহক।

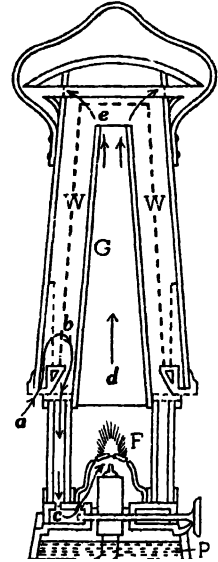
তারের জালি ও বুনসেন বার্নারের পরীক্ষা.—একখানি সাধারণ তারের জালি বুন্‌সেন বার্নারের মুখ হইতে ইঞ্চিখানেক উপরে ধর। বার্নারে গ্যাস খুলিয়া দিয়া জালির উপরে গ্যাস জ্বালাইয়া দাও [চিত্র ৫৪ (খ)]। শিখাটি জালির উপরেই থাকিয়া যাইবে, উহার নীচের গ্যাস জ্বলিয়া উঠিবে না। ইহা জালির ধাতব তারের উত্তম তাপ-পরিবহন-ক্ষমতার জন্য হয়। অগ্নিশিখার তাপ তারের জালি দ্বারা দ্রুত চতুর্দিকে ছড়াইয়া পড়ে, নিম্নের গ্যাসের তাপমাত্রা জ্বলনাঙ্কে পৌছায় না। এই পরীক্ষার সাহায্যেও বোঝা যায় যে, ধাতু তাপের উত্তম পরিবাহক।

তামা লোহা অপেক্ষা উৎকৃষ্টতর পরিবাহক.—সকল ধাতুই তাপের উৎকৃষ্ট পরিবাহক। তবু একটি ধাতু অন্য একটি ধাতুর তুলনায় উৎকৃষ্টতর পরিবাহক হইতে পারে। একটি স্ট্যাণ্ডের উপরে একখানি লোহার পাত ও সমদৈর্ঘ্যের একখানি অনুরূপ তামার পাত অনুভূমিকভাবে এক লাইনে বসাইয়া উহাদের একপ্রান্ত পরস্পরের সহিত লাগাইয়া রাখ। অন্য প্রান্তদুইটির উপরে দুই খণ্ড ফস্‌ফোরাস (phosphorus) রাখ। এখন উভয়ের মধ্যবর্তী সংযোগস্থলে একটি বুন্‌সেন শিখা দিয়া তাপ দিলে দেখিতে পাইবে যে তামার পাতের উপরিস্থ ফস্‌ফোরাস-খণ্ড আগে জ্বলিয়া উঠিবে। ইহাতে প্রমাণিত হয় যে, তামা লোহা অপেক্ষা উৎকৃষ্টতর তাপ-পরিবাহক, বা তামার তাপ-পরিবাহিতা লোহা অপেক্ষা অধিক।

(২) ডেভির নিরাপদ বাতি (Davy's Safety Lamp).—খনির অভ্যন্তরে সহজ দাহ্য একপ্রকারের গ্যাসীয় পদার্থ থাকে। ইহা মার্স গ্যাস (marsh gas)— সচরাচর ইহাকে বলা হয় ফায়ার ড্যাম্প। খনির শ্রমিকেরা উন্মুক্ত তৈল-প্রদীপ হাতে লইয়া খনির মধ্যে অন্ধকারে কাজ করিতে গিয়া পূর্বকালে প্রায়ই বিপজ্জনক বিস্ফোরণের সম্মুখীন হইত। ইহার কারণ, ঐ গ্যাস অক্সিজেন বা বায়ুর মিলনে দীপশিখার তাপে জ্বলিয়া উঠে। ডেভি সাহেব ধাতুর উত্তম পরিবহনধর্মের সাহায্য

লইয়া এই সমস্যার সমাধান করেন। ডেভি-র আবিষ্কৃত বাতি দাহ্য গ্যাসের মধ্যেও নিরাপদে ব্যবহার করা যায়। বৈদ্যুতিক ল্যাম্প আবিষ্কৃত হওয়ার পূর্ব পর্যন্ত এই বাতিই ছিল খনির মধ্যে শ্রমিকদের ব্যবহারযোগ্য একমাত্র বাতি। এই প্রদীপে অগ্নিশিখার চারিধারে থাকে একখানি ধাতব তারের জালির বেষ্টনী। প্রদীপশিখার তাপ ধাতব জালির উত্তম পরিবাহিতার জন্য চতুর্দিকে সমানভাবে ছড়াইয়া পড়ে। ইহার ফলে প্রদীপের বাহিরের দাহ্য গ্যাস কখনই জ্বলনাঙ্কে পৌছিতে পারে না।

চিত্র ৫৫তে একটি আধুনিক ডেভি-প্রদীপের চিত্র দেওয়া হইয়াছে। ইহাতে কেরোসিন তেল ব্যবহার করা হয়। শিখাটি (F) পরপর দুইটি কাঁচের চোঙ দ্বারা ঘেরা। কাঁচের বেষ্টনী শিখার উজ্জ্বলতা বিশেষ কমায় না, কিন্তু শিখাটিকে বাতাসের ঝাপ্‌টা হইতে রক্ষা করে। দুই চোঙের অন্তর্বর্তী কক্ষের মধ্য দিয়া বায়ু a, b, c, F পথ বরাবর প্রবাহিত হইয়া শিখাটিকে প্রজ্বলিত রাখে। G একটি শঙ্কু আকৃতির কাঁচের চিম্‌নী। ইহার মধ্য দিয়া দহনান্তে লঘু ধূম্রসমষ্টি d, e পথ ধরিয়া শিখা হইতে উপরে উঠে এবং শেষ পর্যন্ত শীর্ষস্থ একটি ধাতব ঢাক্‌নার তলা দিয়া পার্শ্বদিকে বাহির হইয়া যায়। ফুট্‌কিরেখা দ্বারা তারের একটি জালি (W) দেখান হইয়াছে। ইহা জ্যাকেটের মত কাঁচের চিম্‌নী Gর বাহিরে থাকে। তারের জালির বাহিরে একটি ধাতব ফ্রেম আছে। ইহার উপরে একটি হাতল লাগান থাকে। যদি কোন বিস্ফোরক বা সহজ দাহ্য গ্যাস a, b, c, F পথে ভিতরে ঢোকে তাহা হইলে সাধারণতঃ উহা নীল শিখার আকারে জ্বলিতে থাকে। শিখার রং দেখিয়া খনির কর্মীরা সাবধান হইতে পারে। ভিতরের দগ্ধ গ্যাসের তাপকে তারের জালিটি চতুর্দিকে ছড়াইয়া দেয় বলিয়া বাহিরের গ্যাস কখনই জ্বলনাঙ্কে উন্নীত হয় না।



চিত্র ৫৫—ডেভির নিরাপদ বাতি।

১০৩। তাপ-পরিবহনে স্থিরপূর্ব অবস্থা (variable state) এবং সুস্থির অবস্থা (steady state):—মনে কর যে, একটি ধাতব রডের এক প্রান্ত আগুনের মধ্যে রাখা হইল। তাপ পরিবাহিত হইয়া অন্য প্রান্তের দিকে সঞ্চালিত হইবে। রডের

যে-কোন স্থানে একটি আড়াআড়ি স্তরের তাপগত অবস্থা বিবেচনা করা যাক্। পূর্বস্তর হইতে পরিবাহিত হইয়া কিছুটা তাপ প্রতি সেকেণ্ডে এই স্তরের মধ্যে প্রবেশ করিবে। এই তাপের কিছুটা উক্ত স্তর শোষণ করিয়া লইবে যাহার ফলে উহার উষ্ণতা বাড়িবে। কিছুটা তাপ ঐ স্তরের বহিঃপৃষ্ঠ হইতে পরিমণ্ডলের বায়ুতে সঞ্চালিত হইয়া যাইবে। অবশিষ্ট তাপ ঐ স্তরের মধ্য দিয়া পরিবাহিত হইয়া পরবর্তী স্তরে চলিয়া যাইবে। যতক্ষণ এই প্রক্রিয়া চলিতে থাকিবে, অর্থাৎ প্রত্যেক স্তরের উষ্ণতা যতক্ষণ বাড়িতে থাকিবে, ততক্ষণ অবস্থাটিকে পরিবর্তনশীল স্থিরপূর্ব অবস্থা বলা হয়।

এই উষ্ণতাবৃদ্ধির অবস্থা কিছু সময় ব্যাপিয়া চলার পরে অবশেষে এক সময়ে প্রত্যেক স্তরই আপন আপন স্থির উষ্ণতা লাভ করিবে, অর্থাৎ কোন স্তরই ইহার পর আর-কোন তাপ শোষণ করিবে না। তখন পূর্বস্তর হইতে কোন স্তরে যতটা তাপ প্রবেশ করিবে তাহার কিছুটা ঐ স্তরের বহিঃপৃষ্ঠ হইতে বায়ুমণ্ডলীতে সঞ্চালিত হইয়া নষ্ট হইবে এবং অবশিষ্টাংশ পদার্থের মধ্য দিয়া পরিবাহিত হইয়া পরবর্তী স্তরে প্রবেশ করিবে। বহিঃপৃষ্ঠ হইতে ত্যক্ত তাপ হিসাবে বাদ দিলে মোটামুটি বলা যায় যে, স্থির অবস্থায় যে-কোন স্তরে প্রতি সেকেণ্ডে যতটা তাপ পূর্বস্তর হইতে প্রবেশ করে ঐ স্তর হইতে প্রতি সেকেণ্ডে ততটা তাপই পরবর্তী স্তরে পরিবাহিত হয় এই অবস্থাকেই তাপ-পরিবহনের ক্ষেত্রে সুস্থির অবস্থা বলা হয়।

১০৪। **তাপ-পরিবহন-গুণাঙ্ক বা তাপ-পরিবাহিতা** (Co-efficient of thermal conductivity or simply, thermal conductivity):—মনে কর, আমরা কোন পদার্থের একটি সর্বত্র সমপুরু প্লেট লইলাম। পরীক্ষার দ্বারা জানা গিয়াছে যে, ইহার এক পৃষ্ঠ হইতে অন্য পৃষ্ঠে পৃষ্ঠের লম্বদিকে তাপগত সুস্থির অবস্থায় (steady state) যে পরিমাণ তাপ পরিবাহিত হইবে তাহা পাঁচটি উৎপাদকের উপর নিম্নোক্তরূপে নির্ভর করিবে—

(ক) **পদার্থের প্রকৃতি**—রূপা, লোহা, বিস্মাথ, ইত্যাদি প্রত্যেক বিভিন্ন পদার্থের ক্ষেত্রেই বিভিন্ন পরিমাণ তাপ পরিবহনের সাহায্যে সঞ্চালিত হইবে।

(খ) **ক্ষেত্রফল**—ইহা যত বেশি হইবে তত বেশি তাপ পরিবাহিত হইবে। পরিবাহিত তাপের পরিমাণ ক্ষেত্রফলের সহিত আনুপাতিক হয়।

(গ) **প্লেটের বেধ**—বেধ যত বেশি হইবে, সঞ্চালিত হইবে। পরিবাহিত তাপের পরিমাণ বেধের সহিত ব্যস্ত সমানুপাতিক হয়।

(ঘ) **প্লেটের দুই পৃষ্ঠের উষ্ণতার অন্তর**—এই অন্তর যত অধিক হইবে তত অধিক তাপ পরিবাহিত হইবে।

দ্রষ্টব্য : (গ) ও (ঘ)কে একত্র করিয়া বলা যায় যে,

$$\textbf{পরিবাহিত তাপ} \propto \frac{\textbf{পৃষ্ঠদ্বয়ের উষ্ণতার অন্তর}}{\textbf{পৃষ্ঠদ্বয়ের দূরত্বের মান}}।$$

শেষোক্ত রাশিটি প্রতি একক দূরত্বের জন্য উষ্ণতার অন্তর সূচিত করে—ইহাকে উষ্ণতাহ্রাসের হার (temperature gradient) বলা হয়।

(ঙ) **যতটা সময় ধরিয়া তাপ পরিবাহিত হয়**—সময় অধিক হইলে পরিবাহিত তাপের পরিমাণও আনুপাতিকভাবে অধিক হয়।

অতএব প্লেটের এক পৃষ্ঠ হইতে অন্য পৃষ্ঠে পরিবহনের সাহায্যে সঞ্চালিত তাপের পরিমাণ (Q) হইবে,

$Q \propto A$, (A হইল পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল)

$\propto \frac{\theta_1 - \theta_2}{d}$, (d প্লেটের বেধ, θ_1 ও θ_2 যথাক্রমে উষ্ণ ও অপেক্ষাকৃত শীতল পৃষ্ঠের তাপমাত্রা)

$\propto t$, (সময়)।

সুতরাং, $Q \propto A\frac{(\theta_1 - \theta_2)t}{d}$; বা, $Q = \frac{K.A.(\theta_1 - \theta_2)t}{d}$ ... (১)

এখানে K একটি ধ্রুবক। ইহা প্লেটের পদার্থগত গুণের উপর নির্ভর করে। বিভিন্ন উষ্ণতায় ইহার মান সম্পূর্ণ স্থির থাকে না। এই K-রাশিটির নামই হইল তাপ-পরিবহন-গুণাঙ্ক বা তাপ-পরিবাহিতা। সমীকরণ (১) হইতে বোঝা যায় যে, $A=1$, $\theta_1 - \theta_2 = 1$, $t=1$ এবং $d=1$ হইলে, $K=Q$ হইবে।

অতএব আমরা বলিতে পারি যে, একক বেধের কোন পদার্থের প্রতি বর্গএকক ক্ষেত্রফলের মধ্য দিয়া পদার্থের দুই পৃষ্ঠে 1° উষ্ণতার অন্তরের জন্য সুস্থির অবস্থায় প্রতি সেকেণ্ডে ঐ পদার্থের এক পৃষ্ঠ হইতে অপর পৃষ্ঠে পৃষ্ঠের লম্ব দিকে যে পরিমাণ তাপ পরিবহন-পদ্ধতিতে সঞ্চালিত হয় উহাই ঐ পদার্থের তাপ-পরিবহন-গুণাঙ্কের বা তাপ-পরিবাহিতার মান।

সমীকরণ (১) অনুযায়ী, $K = \frac{Q \times d}{A \times (\theta_1 - \theta_2) \times t} = \frac{Q \times d}{A \times \theta \times t}$, (এখানে $\theta = \theta_1 - \theta_2$)।

তাহা হইলে সি. জি. এস্, পদ্ধতি অনুযায়ী—

$$K = \frac{Q \text{ ক্যালরি} \times \text{সে.মি.}}{\text{বর্গ সে.মি.} \times {}^{\circ}\text{সে.} \times \text{সেকেণ্ড}} = \frac{Q \text{ ক্যালরি}}{\text{সে.মি.} \times {}^{\circ}\text{সে.} \times \text{সেকেণ্ড}}$$

$= Q$ ক্যালরি প্রতি সে.মি.তে প্রতি ° সে.তে, প্রতি সেকেণ্ডে।

এফ্. পি. এস্. পদ্ধতি অনুযায়ী—

$K = Q$ বৃটিশ-তাপ-একক, প্রতি ইঞ্চিতে প্রতি ° ফা.তে, প্রতি সেকেণ্ডে

১০৫। স্থিরপূর্ব অবস্থায় উষ্ণতাবৃদ্ধির হার: তাপ-পরিবহন-গুণাঙ্ক (thermal conductivity) এবং **পরিবহনের উষ্ণতা-গুণাঙ্ক** (thermometric conductivity):—সুস্থির অবস্থায় পদার্থের মধ্য দিয়া তাপ-পরিবহনের হার (পরিবাহিত তাপ ÷ সময়, বা প্রতি একক সময়ে স্থানান্তরিত তাপ) ঐ পদার্থের তাপ-পরিবহন-গুণাঙ্কের উপর নির্ভর করে। কিন্তু পরিবর্তনশীল স্থিরপূর্ব অবস্থায় স্থানান্তরিত তাপের পরিমাণ: ঐ পদার্থের একক আয়তনের তাপধারণ-ক্ষমতা বা তাপগ্রাহীতার (একক আয়তনের তাপধারণ-ক্ষমতা = ঘনত্ব × আপেক্ষিক তাপ) উপরও নির্ভর করিবে।

সুস্থির অবস্থায় পদার্থের প্রত্যেক স্থানে উষ্ণতা নির্দিষ্ট থাকে এবং কোন স্তরেই তাপ শোষিত হয় না। পরিবর্তনশীল স্থিরপূর্ব অবস্থায় যে-কোন স্তরে তাপ-স্থানান্তরের পরিমাণ ঐ স্তরে পরিবহনের সাহায্যে লব্ধ তাপ এবং ঐ স্তরের তাপধারণ-ক্ষমতা অনুযায়ী শোষিত তাপের বিয়োগফলের সমান হইবে। এই স্থিরপূর্ব অবস্থায় উষ্ণতাবৃদ্ধির হার পদার্থটির পরিবহন-গুণাঙ্কের সামান্য আনুপাতিক ও একক আয়তনের তাপধারণ-ক্ষমতার ব্যস্ত সমানুপাতিক হয়। যে উৎপাদকটি সামগ্রিকভাবে এই উষ্ণতাবৃদ্ধি নিয়ন্ত্রিত করিবে তাহা, তাহা হইলে, হইবে একটি নূতন রাশি $= K/\rho s$

$$= \frac{\textbf{তাপ-পরিবহন-গুণাঙ্ক}}{\textbf{(ঘনত্ব)} \times \textbf{(আপেক্ষিক তাপ)}} = \frac{\textbf{তাপ-পরিবহন-গুণাঙ্ক}}{\textbf{প্রতি একক আয়তনের তাপধারণ-ক্ষমতা}}।$$

এই রাশিটি পদার্থের একটি বৈশিষ্ট্যসূচক ধর্ম। ইহারই নাম পরিবহনের উষ্ণতা-গুণাঙ্ক (thermometric conductivity) বা তাপব্যাপনতা (thermal diffusivity)।

এই উৎপাদক রাশিটি হইতে বোঝা যাইতেছে যে, যদি কোন পদার্থের একক আয়তনের তাপধারণ-ক্ষমতা খুব কম হয় তাহা হইলে (পরিবহন-গুণাঙ্ক কম হইলেও) তাপ-

ব্যাপনতা (diffusivity) খুব বেশি হইতে পারে এবং সেক্ষেত্রে পরপর স্তরগুলির উষ্ণতা দ্রুত বাড়িতে থাকিবে কারণ, পরিবাহিত তাপের সামান্য অংশও উষ্ণতাবৃদ্ধির পক্ষে যথেষ্ট হইবে। তাপধারণ-ক্ষমতা খুব বেশি হইলে তাপ-পরিবহন-গুণাঙ্ক যথেষ্ট বড় হওয়া সত্ত্বেও তাপ-ব্যাপনতা (diffusivity) এত কম হইতে পারে যে, সুস্থির অবস্থায় আসার জন্য উষ্ণতা অতি ধীরে ধীরে বাড়িবে। দৃষ্টান্তস্বরূপ লোহা ও বিস্‌মাথের কথা আলোচনা করা যাক্। লোহার ঘনত্ব, $\rho = 7.8$ গ্রাম, প্রতি ঘন সে.মি.তে এবং আপেক্ষিক তাপ, $s = 0.11$; অর্থাৎ, ইহার একক আয়তনের তাপধারণ-ক্ষমতা $= \rho s = 7.8 \times 0.11 = 0.858$ ক্যালরি। বিস্‌মাথের একক আয়তনের তাপধারণ-ক্ষমতা = বিস্‌মাথের ঘনত্ব × বিস্‌মাথের আপেক্ষিক তাপ = 9.8 গ্রাম প্রতি ঘন সে.মি.তে $\times 0.03 = 0.294$ ক্যালরি। লোহার তাপ-পরিবাহন-গুণাঙ্ক $(K) = 0.16$ ক্যালরি, প্রতি সে.মি.তে প্রতি °সে.তে প্রতি সেকেণ্ডে। এই এককে বিস্‌মাথের তাপ-পরিবহন গুণাঙ্ক $= 0.02$। অতএব সুস্থির অবস্থায় লোহার মধ্য দিয়া বিস্‌মাথ অপেক্ষা 8 গুণ $(0.16 \div 0.02)$ অধিক তাপ পরিবাহিত হয়। লোহা ও বিস্‌মাথের তাপব্যাপনতা (diffusivity) হইবে, যথাক্রমে $= \dfrac{0.16}{0.858}$ এবং $\dfrac{0.02}{0.294}$; অর্থাৎ,

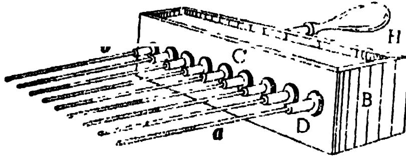
$$\frac{\text{লোহার তাপ-ব্যাপনতা}}{\text{বিস্‌মাথের তাপ-ব্যাপনতা}} = \frac{0.16}{0.858} \Big/ \frac{0.02}{0.294} = 2.7 \text{ (প্রায়)।}$$

অতএব, তাপ-পরিবহন ক্ষমতা 8 গুণ বেশি হওয়া সত্ত্বেও লোহা বিস্‌মাথ অপেক্ষা মাত্র 2.7 গুণ তাড়াতাড়ি পরিবর্তনশীল অবস্থা হইতে স্থির অবস্থায় পৌঁছিবে।

১০৬ বিভিন্ন কঠিন পদার্থের তাপ-পরিবহন-গুণাঙ্কের তুলনা :—

ইনজেন্ হজের পরীক্ষা (Ingen Hausz's experiment).—এই পদ্ধতিতে বিভিন্ন ধাতুর তাপ-পরিবহন-গুণাঙ্কের মোটামুটি তুলনা করে চলে। পরীক্ষাটি খুব সরল হইলেও ইহার আংকিক নীতি প্রতিষ্ঠা করা তত সহজ নহে। চিত্র ৫৬তে a হইতে b পর্যন্ত কতকগুলি বিভিন্ন ধাতুর রড দেখান হইয়াছে। সব কয়টি রডই এক মাপের। প্রত্যেকটি রডকেই এক প্রান্ত হইতে অপর প্রান্ত পর্যন্ত সমান বেধের এক মোমের আবরণে আবৃত করা হয়। বাক্স B একটি জলগাহ বা তৈলগাহ। এই গাহকে উত্তপ্ত করিয়া রডগুলির একপ্রান্ত গরম করা হয়। বাক্সটি ধাতবপাত দিয়া তৈয়ারি। ইহার সামনের দেওয়াল CD পুরু তামার পাতের। প্রত্যেক রডের একপ্রান্ত এই দেওয়ালের এক একটি গর্তের মধ্য দিয়া বাক্সের ভিতরে ঢোকান হয়। প্রত্যেক রডের সমান দৈর্ঘ্যাংশ গাহের মধ্যে প্রবিষ্ট থাকে। তরল গাহকে

বার্নারের সাহায্যে উত্তাপ করিয়া কোন নির্দিষ্ট উষ্ণতায় আনা হয়। বার্নার ও রড-গুলির মধ্যে একখানি তাপ-অপরিবাহী পর্দা খাড়াভাবে বসাইয়া রাখা দরকার হয় যাহাতে তাপ বার্নারের শিখা হইতে সোজাসুজি রডগুলির গাত্রে পৌঁছিতে না পারে। উষ্ণ গাহ হইতে তাপ রডগুলির মধ্য দিয়া পরিবাহিত



চিত্র ৫৬

হইয়া উহাদের অপর প্রান্তের দিকে সঞ্চালিত হইতে থাকে। ফলে, মোম ক্রমেই অধিক দূর পর্যন্ত (গাহের প্রান্ত হইতে) গলিতে থাকে। পরিবর্তনশীল অবস্থায় (অর্থাৎ যতক্ষণ মোম গলিতে থাকিবে) মোমগলনের হার (কতটা দৈর্ঘ্য ধরিয়া মোম গলিয়াছে তাহা দেখিলেই ইহা বোঝা যাইবে) বিভিন্ন রডের তাপব্যাপনতা (diffusivity) অনুযায়ী বিভিন্ন হইবে। সুস্থির অবস্থায় (অর্থাৎ মোমগলন-ক্রিয়া বন্ধ হওয়ার পর) বিভিন্ন রডের মোম বিভিন্ন দৈর্ঘ্য পর্যন্ত গলিবে। অবশ্য রডের দৈর্ঘ্য এমন হওয়া চাই যে, ইহার উন্মুক্ত প্রান্তে কিছুটা দৈর্ঘ্য পর্যন্ত মোম অগলিত অবস্থায় থাকিবে। ধরা যাক্ যে, k_1 তাপ-পরিবাহিতার রডে গাহ হইতে l_1 দৈর্ঘ্য পর্যন্ত মোম গলে, k_2 তাপ-পরিবাহিতার রডে মোম l_2 দৈর্ঘ্য পর্যন্ত গলে। তাহা হইলে প্রমাণ করা যায় যে, $\frac{k_1}{l_1^2}=\frac{k_2}{l_2^2}$। এই সমীকরণের সঠিকতা নির্ভর করে একটি সর্তের উপর। সর্তটি এই যে প্রত্যেক রডের তাপবিকিরণতা (emissivity) ও প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল সমান হইবে। তাপবিকিরণতা পৃষ্ঠের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে। প্রত্যেক রড মোম দ্বারা আবৃত বলিয়া ইহাদের পৃষ্ঠের প্রকৃতি একই রকমের। আর রডগুলির প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফলও সমান। সবগুলি রডের কথা বিবেচনা করিলে, সমীকরণটি এইরূপে লেখা যায়, যথা—

$$\frac{k_1}{l_1^2}=\frac{k_2}{l_2^2}=\frac{k_3}{l_3^2}= \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (১)$$

অর্থাৎ, সুস্থির অবস্থায় তাপ-পরিবহন-গুণাঙ্ক মোমগলান-দৈর্ঘ্যের বর্গের আনুপাতিক হইবে। কোন রডে অপর-একটি রডের দ্বিগুণ দৈর্ঘ্য পর্যন্ত মোম গলিলে ইহার তাপ-পরিবহন-গুণাঙ্ক অপরটির চার গুণ হইবে।

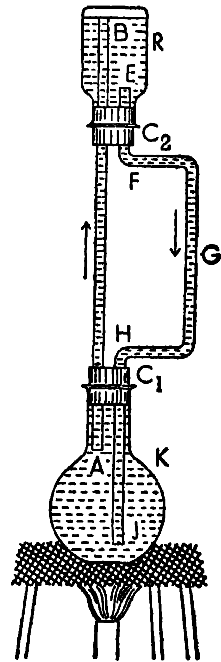
পরীক্ষার সাহায্যে $l_1, l_2, l_3 \cdots$ইত্যাদি দৈর্ঘ্যগুলি জানা গেলে, তাপ-পরিবহন-গুণাঙ্ক, k_1, k_2, k_3 ইত্যাদির তুলনা করা চলে এবং কোন একটি রডের তাপ-পরিবহন-গুণাঙ্ক জানা থাকিলে অন্য রডগুলির তাপ-পরিবহন-গুণাঙ্ক নির্ণয় করা যায়।

তাপ-পরিচলন (Convection)

১০৭। তরল ও গ্যাসীয় পদার্থে পরিচলন-প্রবাহ কিরূপে সৃষ্টি হয় :— পরিচলনে পদার্থকণাগুলি নিজেরাই একস্থান হইতে অন্য স্থানে সরাসরি তাপ বহন করিয়া লইয়া যায়। স্পষ্টতঃই এই প্রক্রিয়া কঠিন পদার্থের মধ্যে ঘটিতে পারে না, তরল এবং গ্যাসীয় পদার্থের ক্ষেত্রে সম্ভব। তরল বা গ্যাসীয় পদার্থের নিম্ন ভাগ উত্তপ্ত হইলে উষ্ণ কণাগুলি হাল্‌কা হইয়া উপরে ওঠে। ইহাদের শূন্য স্থান পূরণ করিবার জন্য উপর হইতে অপেক্ষাকৃত শীতল ও ঘন পদার্থ নীচে নামিয়া আসিতে থাকে। এই ঊর্ধ্বমুখী উষ্ণ কণাগুলি ও নিম্নমুখী শীতল কণাগুলির প্রবাহকে একত্রে পরিচলন-প্রবাহ বলা হয়। উত্তপ্ত অংশ ও শীতল অংশ পরিচলন-প্রবাহের দ্বারা ক্রমে পরস্পর মিশ্রিত হয় এবং শেষ পর্যন্ত পদার্থটি সর্বত্র সমান উষ্ণতা লাভ করে।

১০৮। পরিচলন-প্রবাহের কয়েকটি সহজ দৃষ্টান্ত :—

প্রদর্শন (Demonstration).—(১) পরিচলনসৃষ্ট জলপ্রবাহ—চিত্র ৫৭ দেখ।



চিত্র ৫৭

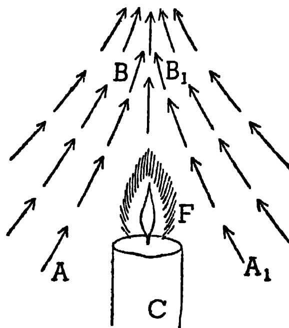
K একটি বড় ফ্লাস্ক, ইহা নীল লিট্‌মাস্ (litmus) দ্রবণ-দ্বারা পূর্ণ। উল্টানো ফ্লাস্ক Rএর মধ্যে আছে পাত্‌লা অ্যাসিড দ্রবণ। খাড়া নল AB এবং বেঁকানো নল $JHGE$ দ্বারা দুই ফ্লাস্কের তরল পদার্থের মধ্যে যোগাযোগ স্থাপন করা আছে। AB এবং $JHGE$ নলদুইটি ঐ অ্যাসিড দ্রবণে পূর্ণ।

ফ্লাস্ক Kর তলায় তাপ দিলে দেখিতে পাইবে যে, নীল লিট্‌মাস দ্রবণ AB নল বাহিয়া উপরে উঠিতেছে এবং অ্যাসিড দ্রবণ $EFGHJ$ পথে নীচে নামিয়া আসিতেছে। অ্যাসিড দ্রবণ J মুখ দিয়া বাহির হইয়া নীল লিট্‌মাসকে লাল করিয়া দিবে। কিছুক্ষণ পরে দেখা যাইবে যে, নীল লিট্‌মাস ও অ্যাসিডের মিশ্রণের ফলে সমগ্র তরল পদার্থ সর্বত্র ঈষৎ লাল বর্ণ ধারণ করিবে। এই পরীক্ষায় অ্যাসিড ও নীল লিট্‌মাস ব্যবহার করায় পরিচলন-প্রবাহ প্রত্যক্ষ করা সম্ভব হয়।

লক্ষ্য করার বিষয় এই যে, তরল পদার্থের নিম্নে কোন এক স্থানে তাপ দিলে ঐ তাপ পরিচলন-প্রবাহের সাহায্যে আধারস্থ তরল পদার্থের সর্বত্র পরিব্যাপ্ত হয় এবং অবশেষে সর্বত্র সম উষ্ণতার

সৃষ্টি করে। তরল পদার্থ সাধারণতঃ তাপের খুব মন্দ পরিবাহক। যদি পরিচলন-ক্রিয়া সংঘটিত না হইত তবে তরল পদার্থকে সর্বত্র সম উষ্ণতায় উন্নীত করিতে দীর্ঘ সময় ধরিয়া উহাকে তাপ দান করিতে হইত। পরিচলনক্রিয়া সম্ভব হওয়ার ফলে তরল পদার্থের মন্দ পরিবহনধর্মের দোষ সত্ত্বেও তাপসঞ্চালন উহা দ্বারা ভালভাবেই হইতে পারে। পাতলা কাগজের ঠোঙায় জল রাখিয়া তলায় সতর্কভাবে তাপ দিয়া জল ফুটান যায়, অথচ কাগজ জ্বলিয়া উঠে না; কারণ তাপ, পরিচলনের সাহায্যে, কাগজ হইতে দ্রুত তরল পদার্থের সর্বত্র ছড়াইয়া পড়ে, ফলে কাগজের তাপমাত্রা জ্বলনাঙ্কে পৌঁছিতে পারে না।

(২) **জ্বলন্ত মোমবাতির চতুর্দিকের বায়ুপ্রবাহ**.—চিত্র ৫৮ দেখ। C একটি মোমবাতি, উহার শিখা (F) জ্বলিতেছে। শিখার তাপে সংলগ্ন বায়ু উত্তপ্ত হয় এবং হাল্‌কা হইয়া উপরে উঠিয়া যায় (এইজন্য শিখার পাশের দিকে হাত রাখিলে যতটা গরম লাগে শিখার উপরে হাত রাখিলে তাহা অপেক্ষা অনেক বেশি গরম লাগে)। চারিদিকের ঠাণ্ডা বায়ু উত্থিত গরম বায়ুর স্থান গ্রহণ করে এবং ইহাও আবার তপ্ত হইয়া উপরে উঠিয়া যায়। এইভাবে অগ্নিশিখা প্রয়োজনীয় অক্সিজেনের জোগান পায়। A হইতে B বা A_1 হইতে B_1 দিকে তাপ-পরিচালনের ফলে বায়ুপ্রবাহের সৃষ্টি হয়। চুল্লীর চিম্‌নীর মধ্য দিয়াও অনুরূপভাবে বায়ু উপরে উঠে। চিম্‌নী যত উঁচু হয় বায়ুপ্রবাহও তত দ্রুত হয়। বড় বড় চুল্লীতে প্রচুর পরিমাণ জ্বালানী দহন করা হয় এবং এই দহনকার্যের জন্য প্রচুর বায়ু বা অক্সিজেন দরকার। বড় চুল্লীর উপরে তাই উঁচু চিম্‌নী লাগান আবশ্যক।



চিত্র ৫৮

(৩) **ভেণ্টিলেশন** (Ventilation) **বা বায়ুচলাচলের কার্যনীতি**.—তীব্র বায়ুপ্রবাহের সৃষ্টি না করিয়া ঘরের উষ্ণ এবং নিঃশ্বাসত্যক্ত নানা গ্যাসপূর্ণ বদ্ধ বায়ুকে বাহির করিয়া দিয়া বিশুদ্ধ বায়ু ঘরে ঢুকাইবার ব্যবস্থাকে ভেণ্টিলেশন বা বায়ুচলাচল বলা হয়। ঘরে উষ্ণ বায়ু ও বাহিরে শীতল বায়ু থাকার জন্য পরিচলন-প্রবাহের সৃষ্টি হয়। ঘরের দেওয়ালের উপরের দিকে ভেণ্টিলেটর থাকে। ঘরের বদ্ধ উষ্ণ বায়ু হাল্‌কা বলিয়া উপরে উঠে এবং ভেণ্টিলেটরের ফোকরের মধ্য দিয়া বাহিরে চলিয়া যায়।

দেওয়ালের নীচের দিকের অনুরূপ কতকগুলি ফোকরের মধ্য দিয়া বাহিরের বিশুদ্ধ শীতল বায়ু ঘরে ঢুকিতে থাকে। ঐরূপ ফোকর না থাকিলে জানালার মধ্য দিয়া শীতল বায়ু ভিতরে আসে। গরম বায়ু উপরে উঠিয়া ভেন্টিলেটরের মধ্য দিয়া বাহিরে যায় এবং ঠাণ্ডা বায়ু জানালার মধ্য দিয়া ভিতরে ঢুকিয়া ইহার স্থান দখল করে। এইরূপে বায়ু-চলাচল অব্যাহত থাকে।

চিত্র ৫৯

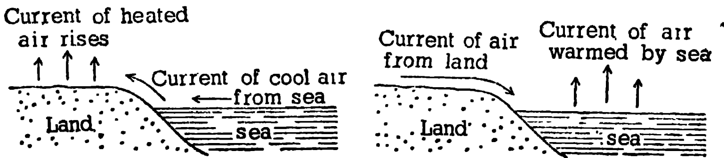
উষ্ণ গ্যাস অপসারণ এবং যুগপৎ শীতল বায়ু আহরণের ক্রিয়া নিম্নের সহজ পরীক্ষাটির দ্বারা দেখান যায়। চিত্র ৫৯এ প্রদর্শিত রূপে V পাত্রের উপর C মোমবাতিটি বসাইয়া উহা জ্বালাইয়া দাও। মোমবাতিটিকে ঘিরিয়া একটি কাঁচের চিম্‌নী বা চোঙ (MN) বসাইয়া দিলে অগ্নিশিখা (F) নির্বাপিত হইয়া যাইবে। ইহার কারণ হইল অক্সিজেনের অভাব এবং অক্সিজেনের অভাবের কারণ হইল বায়ুচলাচল বন্ধ হওয়া। চিম্‌নীর তলার পথ জলে বন্ধ হইয়া যাওয়ায় বায়ু চিম্‌নীর তলা দিয়া ভিতরে ঢুকিতে পারে না। এবার চিম্‌নীর মধ্যে T-আকৃতির একটি কার্ডবোর্ড বা ধাতব পাত (AB) খাড়াভাবে ধর। এক্ষেত্রে প্রজ্বলিত অগ্নিশিখা দেখিবে অনির্বাণ থাকিবে। ইহার কারণ এই যে, ধাতব পাতটি চিম্‌নীটিকে দুই প্রকোষ্ঠে ভাগ করিয়া দেয়। এক প্রকোষ্ঠের মধ্য দিয়া জ্বলনান্তে গ্যাসগুলি উপর দিকে উঠিয়া চিম্‌নী হইতে বহির্গত হয়, অন্য প্রকোষ্ঠের মধ্য দিয়া বাহিরের শীতল বায়ু ঐ শূন্য স্থান পূরণ করিবার জন্য নিম্ন দিকে শিখা-অভিমুখে নামিয়া আসে। এই ঊর্ধ্ব ও নিম্ন প্রবাহকে তীরচিহ্ন দ্বারা দেখান হইয়াছে। পরিচলন-প্রবাহ যে ভেন্টিলেশনের সৃষ্টি করে তাহা হইতেই শিখা প্রয়োজনীয়

চিত্র ৬০

বায়ু বা অক্সিজেন পায়। ধূমায়মান একটি খড় চিম্‌নীর মুখে ধরিলে বায়ু ও দগ্ধ গ্যাস কোন্‌টি কোন্‌ দিকে বহিতেছে বুঝিতে পারিবে।

(৪) **হ্যারিকেনের ভেণ্টিলেশন.**—স্থিরভাবে জ্বলনের জন্য হ্যারিকেনের শিখাকে অবিরতভাবে অক্সিজেনের জোগান দেওয়া প্রয়োজন। হ্যারিকেনে এই ব্যবস্থা করা হয় পরিচলন-প্রবাহের সাহায্যে। চিত্র ৬০এ একটি হ্যারিকেন দেখান হইয়াছে। ইহাতে Aতে স্থিত a, b, c, d, e ছিদ্রসমূহ দিয়া বায়ু চিম্‌নীর ভিতরে প্রবেশ করে। এই বায়ু BCD পথে প্রবাহিত হইয়া Eতে L শিখার নিকট আসে। জ্বলনান্তে সৃষ্ট গ্যাসগুলি উষ্ণ বলিয়া হাল্‌কা থাকে এবং চিম্‌নীর মধ্য দিয়া সোজা উপরে (E, N হইতে Fএ) উঠিয়া যায় এবং উপরের ফোকর (G) দিয়া বাহিরে চলিয়া যায়।

(৫) **স্থলবায়ু ও সমুদ্রবায়ু** (Land breeze and Sea breeze).—স্থলবায়ু ও সমুদ্রবায়ু পরিমণ্ডলের বায়ুতে দুইটি বিশেষ ধরণের পরিচলন প্রবাহমাত্র।



চিত্র ৬১

সমুদ্রবায়ু—এই বায়ু সমুদ্রের উপর হইতে স্থলের দিকে প্রবাহিত হয় (চিত্র ৬১—বাম অংশ)। স্থল জল অপেক্ষা অনেক দ্রুত তাপ শোষণ করিতে পারে। অধিকন্তু, স্থলের আপেক্ষিক তাপ জল অপেক্ষা অনেক কম। তাই দিনের শেষে সূর্যের তাপের ফলে স্থলের উষ্ণতা সমুদ্রের জল অপেক্ষা অনেক বেশি হয়। এইজন্য তখন স্থলের উপরিস্থ বায়ু অপেক্ষাকৃত হাল্‌কা হয় এবং উপরে উঠিয়া যায় এবং সমুদ্রের উপরিস্থ অপেক্ষাকৃত শীতল বায়ু ইহার স্থান লইবার জন্য স্থলের দিকে ধাবিত হয়। স্থলমুখী এই বায়ুপ্রবাহেরই নাম সমুদ্রবায়ু। তাই দেখা যাইতেছে যে, সমুদ্রবায়ু পরিচলনের ফলে উদ্ভূত হয়।

স্থলবায়ু—যে বস্তু উত্তম তাপশোষক উহার তাপবিকিরণ-ক্ষমতাও উত্তম। উৎকৃষ্টতর তাপশোষক বলিয়া স্থল সমুদ্রজল অপেক্ষা অপেক্ষাকৃত দ্রুত তাপ বিকিরণ করিয়া সমুদ্রের জল অপেক্ষা শীতলতর হইতে পারে। অধিকন্তু, স্থলের আপেক্ষিক তাপ জল অপেক্ষা অনেক কম। উভয় কারণেই রাত্রিশেষে (বা ভোরে) সমুদ্রের উপরিস্থ বায়ু স্থলভাগের উপরের বায়ু অপেক্ষা অধিক উষ্ণ থাকে। সমুদ্রের উপরের উষ্ণ বায়ু হাল্‌কা

বলিয়া উপরে উঠিয়া যায় এবং স্থলের উপরিস্থ শীতলতর বায়ু উহার স্থান লইবার জন্য সমুদ্র অভিমুখে বহিতে থাকে (চিত্র ৬১, ডান দিকের অংশ)। স্থলের দিক হইতে সমুদ্রগামী এই বায়ুর নাম স্থলবায়ু। তাই দেখা যাইতেছে যে, স্থলবায়ু পরিচলন দ্বারা সৃষ্ট হয়।

বিকিরণ (Radiation)

১০৯। **বিকীর্ণ তাপ** (Radiant heat):—বিকিরণে উষ্ণ পদার্থ হইতে শীতল পদার্থে তাপ যায় কিন্তু মধ্যবর্তী স্থান উত্তপ্ত হয় না—মধ্যবর্তী স্থান শূন্য হইতে পারে বা কোন পদার্থে পূর্ণ হইতে পারে পদ্ধতিতে যে তাপ স্থানান্তরিত হয় উহাকে বিকীর্ণ তাপ বা শুধু বিকিরণ বলা হয় বিকীর্ণ তাপ ও বিকীর্ণ আলোক একই প্রকৃতির ও একই রকমের ধর্মবিশিষ্ট ; পার্থক্য শুধু এই যে, আলোক আমাদের চোখে সাড়া দেয় কিন্তু তাপ চোখে সাড়া দেয় না, ত্বক-ইন্দ্রিয়ের সাহায্যে উপলব্ধি করা যায়।

যে বস্তু হইতে তাপ বিকীর্ণ হয় উহাকে বিকিরক বা তাপ-উৎস বলা হয়। যে বস্তু বিকীর্ণ তাপ গ্রহণ করে উহাকে তাপশোষক বলা হয়। সাধারণভাবে বলিতে গেলে বলা যায় যে, সকল বস্তুই তাপ শোষণ করিতে পারে আবার বিকিরণও করিতে পারে।

পূর্বে ধারণা ছিল যে, গরম বস্তু হইতে গরম বিকিরণ এবং ঠাণ্ডা বস্তু হইতে শীতল বিকিরণ নির্গত হইয়া থাকে। বরফের সামনে দাঁড়াইলে ঠাণ্ডা লাগে। লোকের ধারণা ছিল ঠাণ্ডা লাগার কারণ হইল এই যে, বরফ হইতে শীতল বিকিরণ নির্গত হইতে থাকে। ১৭৯২ খৃষ্টাব্দে জেনিভার প্রিভোস্ট (Prevost of Geneva) এই ধারণার বিরুদ্ধে একটি মত প্রণয়ন করেন। ইহার নাম হইল **প্রিভোস্টের বিনিময়-সূত্র** (Prevost's theory of exchanges)। এই মত এখন সর্ববাদিসম্মত। এই সূত্র অনুযায়ী কোন বস্তু গরমই হউক আর ঠাণ্ডাই হউক উহা হইতে সর্বদা মাত্র এক রকম বিকিরণই নির্গত হয় ; এই বিকিরণ হইল তাপশক্তির বিকিরণ। যে-কোন তাপমাত্রাতেই (অবশ্য 0° পরমের ঊর্ধ্বে) ইহা অন্যান্য বস্তুর অবস্থিতি-নিরপেক্ষ-ভাবে সর্বদাই তাপ বিকিরণ করিতে থাকে ; বস্তুর উষ্ণতা যত বাড়ে প্রতি সেকেণ্ডে বিকীর্ণ তাপের পরিমাণ তত বাড়ে। আবার, যে বস্তু হইতে তাপ বিকীর্ণ হয় উহাও সর্বদা চতুষ্পার্শ্বের বস্তুসমূহ হইতে বিকীর্ণ তাপ শোষণ করে। ঐ শোষিত তাপের পরিমাণ চতুষ্পার্শ্বের বস্তুগুলির উষ্ণতার উপর নির্ভর করিবে। এইভাবে প্রত্যেক বস্তুই এক তাপবিনিময়ের প্রক্রিয়ায় অংশ গ্রহণ করে।

কোন বস্তু যে তাপ শোষণ করে বিকিরণ দ্বারা যদি তাহা অপেক্ষা অধিক তাপ হারায় তাহা হইলে ঐ বস্তু ঠাণ্ডা হইতে থাকে ; আর, যদি ইহা যতটা তাপ হারায় তাহা অপেক্ষা অধিক তাপ শোষণ করে তাহা হইলে ঐ বস্তু গরম হইতে থাকে। বস্তুটির দ্বারা শোষিত ও বিকীর্ণ তাপ সমান হইলে ইহার তাপমাত্রা একই থাকিয়া যাইবে। অতএব কোন বস্তুর উষ্ণতা এক থাকার যে সাম্যাবস্থা উহা প্রকৃতপক্ষে একটি সচল সাম্য (dynamic equilibrium), বস্তুটি বিকিরণ ও শোষণের একটি সমমাত্রার বিনিময়-প্রক্রিয়ায় নিয়ত অংশ গ্রহণ করিয়া আপন উষ্ণতাগত সাম্যাবস্থা বজায় রাখে।

এই বিনিময়সূত্রের সাহায্যে বরফের সামনে দাঁড়াইলে কেন ঠাণ্ডা লাগে তাহার ব্যাখ্যা সহজেই দেওয়া যায়। বরফের সম্মুখে দণ্ডায়মান ব্যক্তির দেহের উষ্ণতা বরফের উষ্ণতা হইতে বেশি। সুতরাং ঐ ব্যক্তি বিকিরণ দ্বারা প্রতি সেকেণ্ডে যতটা তাপ হারায় তাহা অপেক্ষা অনেক কম বিকীর্ণ তাপ সে বরফ হইতে লাভ করে। এই ক্ষেত্রে বিনিময় ব্যক্তিটির পক্ষে লোকসানজনক। মোট ফল হয় এই যে, ব্যক্তিটির দেহ তাপ হারাইতে থাকে এবং তাহার ঠাণ্ডা বোধ হয়। বরফ যতটা তাপ হারায় ঐ ব্যক্তির এবং অন্যান্য বস্তুর নিকট হইতে তাহা অপেক্ষা অধিক তাপ লাভ করে। তাপ-বিনিময় বরফের পক্ষে লাভজনক হয় বলিয়া বরফ গলিতে থাকে।

কোন উত্তপ্ত চুল্লীর সম্মুখে কেহ দাঁড়াইলে তাহার গরম লাগিবে, কারণ সে যতটা তাপ বিকিরণ দ্বারা হারাইবে চুল্লী হইতে তাহা অপেক্ষা অনেক বেশি বিকীর্ণ তাপ লাভ করিবে, কারণ চুল্লীর তাপমাত্রা বেশি।

১১০। **পদার্থের উপর বিকীর্ণ তাপের ক্রিয়া :**—বিকীর্ণ তাপ পদার্থের উপর পতিত হইলে উহার ক্রিয়া নিম্নরূপ তিন রকমের হইতে পারে—

(১) পদার্থের পৃষ্ঠের প্রতিক্রিয়ায় আপতিত বিকিরণের কিয়দংশ পদার্থপৃষ্ঠ হইতে প্রতিফলনের সূত্র অনুযায়ী প্রতিফলিত হইয়া পূর্বমাধ্যমে ফিরিয়া যায়।

(২) আপতিত বিকিরণের কিয়দংশ পদার্থপৃষ্ঠ হইতে অনিয়মিতভাবে প্রতিফলিত হইয়া চতুর্দিকে পূর্ব মাধ্যমে বিক্ষিপ্ত হয়। ইহাকে বিকীর্ণ তাপের বিক্ষেপণ (scattering) বলে।

(৩) পদার্থগত ক্রিয়া—আপতিত বিকীর্ণ তাপের অবশিষ্টাংশ পদার্থের মধ্যে প্রবেশ করে। ইহার সবটা বা কিছুটা পদার্থ দ্বারা শোষিত হয়। শোষিত তাপ দ্বারা পদার্থটির উষ্ণতা বাড়ে। প্রবিষ্ট তাপের কিছু অংশ যদি শোষিত না হয় তবে ঐ অংশ প্রতিসরণের সূত্র অনুযায়ী পদার্থের মধ্য দিয়া বহিরস্থ মাধ্যমে প্রবেশ করে।

১১১। **তাপ-অস্বচ্ছ (Adia-thermanous) ও তাপ-স্বচ্ছ (Dia-thermanous) পদার্থ** :—বিকীর্ণ তাপ কোন পদার্থের উপর পড়িলে ঐ পদার্থ যদি সবটুকু তাপই শোষণ করিয়া নেয়, অর্থাৎ ইহার মধ্য দিয়া কোন তাপকেই বহির্গত হইতে না দেয়, তাহা হইলে ঐ পদার্থকে তাপ-অস্বচ্ছ বা অ্যাডায়াথার্মেনাস্ বলা হয়।

আর যদি বিকীর্ণ তাপ আপতিত হইলে উহার সবটুকুই পদার্থটির মধ্য দিয়া চলিয়া যায়, অর্থাৎ ঐ তাপের কোন অংশই যদি পদার্থটির দ্বারা শোষিত না হয়, তাহা হইলে ঐ পদার্থকে তাপ-স্বচ্ছ বা ডায়াথার্মেনাস্ বলা হয়।

শূন্য স্থান পুরাপুরি তাপ-স্বচ্ছ। শুষ্ক বায়ু, রক্‌সল্ট, কার্বন বাই-সালফাইড প্রভৃতি পদার্থ মোটামুটি তাপ-স্বচ্ছ। কাঠ, স্লেট্, ধাতু, ইত্যাদি তাপ-অস্বচ্ছ।

১১২। **বিকীর্ণ তাপের প্রকৃতি এবং ক্রিয়া** :—তাপ ও আলোকের প্রকৃতি মূলতঃ, একই। উভয়ই তড়িৎ-চুম্বক তরঙ্গ (electro-magnetic wave) মাত্র।* ইহাদের ক্রিয়া পৃথক হয় তরঙ্গদৈর্ঘ্য (wavelength) বিভিন্ন বলিয়া। আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্য তাপের তরঙ্গদৈর্ঘ্য অপেক্ষা অনেক কম। উত্তপ্ত পদার্থ তাপমাত্রা অনুযায়ী নানা বিভিন্ন তড়িৎ-চুম্বক তরঙ্গ বিকিরণ করে।

5 মিটার হইতে 25,000 মিটার পর্যন্ত দৈর্ঘ্যের তড়িৎ-চুম্বক তরঙ্গকে বেতারতরঙ্গ বলা হয়। 0·04 সে.মি. হইতে 0·00008 সে.মি. পর্যন্ত হইল তাপের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পাল্লা। 0·00008 সে.মি. হইতে 0·00004 সে.মি. পর্যন্ত আলোর তরঙ্গমালার দৈর্ঘ্য। ইহা অপেক্ষাও ছোট তরঙ্গদৈর্ঘ্যের তড়িৎ-চুম্বক তরঙ্গকে অতিবেগুনী আলোক (ultra-violet light) বলা হয়। অদৃশ্য অতিবেগুনী আলোর নানারূপ রাসায়নিক ও জৈব ক্রিয়া আছে। যে-কোন তড়িৎ-চুম্বক তরঙ্গই শূন্যের মধ্য দিয়া 3×10^{10} সে.মি. প্রতি সেকেণ্ডে গতিবেগে ধাবিত হয়। তাহা হইলে দেখা যাইতেছে, কোন বস্তুর বিকীর্ণ শক্তির অংশমাত্র (তরঙ্গদৈর্ঘ্য মোটামুটি 0·04 সে.মি. হইতে 0·00008 সে.মি. পর্যন্ত) তাপরূপে আমাদের নিকট ধরা পড়ে।

কোন বস্তুর উষ্ণতা কম হইলে (বস্তুটি লাল-গন্‌গনে হইবার পূর্ব পর্যন্ত) ইহা হইতে অপেক্ষাকৃত অধিক দৈর্ঘ্যের তড়িৎ-চুম্বক তরঙ্গ (যাহাকে আমরা তাপতরঙ্গ বলি) বিকীর্ণ হইতে থাকে। বস্তুটি লাল-গন্‌গনে হইলে তাপতরঙ্গ এবং লোহিত বর্ণ সৃষ্টিকারী আলোকতরঙ্গ (সকল আলোকের মধ্যে লোহিতের তরঙ্গদৈর্ঘ্যই সর্বাপেক্ষা বেশি) বিকীর্ণ

* ইহারা তরঙ্গধর্মী না কণাবিশেষ, না তরঙ্গ ও কণার দ্বৈত ধর্মের অধিকারী তাহা লইয়া আধুনিক পদার্থবিজ্ঞানে এখনও নানা রূপ পরীক্ষা-নিরীক্ষা চলিতেছে।

হয়। তাপতরঙ্গের দৈর্ঘ্য লোহিত আলোকতরঙ্গের দৈর্ঘ্য অপেক্ষা অধিক। তাপ-তরঙ্গকে অবলোহিত (infra-red) তরঙ্গও বলা হয়। অবলোহিত তরঙ্গের দৈর্ঘ্য অধিক বলিয়া আমাদের চোখ ইহাতে সাড়া দেয় না।

বিকিরকের (radiator) উষ্ণতা আরও বাড়াইলে আরও ক্ষুদ্র তরঙ্গ বিকীর্ণ হইতে থাকে। বস্তুটি সাদা-গন্‌গনে হইলে তাপতরঙ্গ এবং 0·00008 সে.মি. হইতে 0·0004 সে.মি. পর্যন্ত তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সকল আলোকতরঙ্গই বিকীর্ণ হইতে থাকে। এইজন্যই সকল বর্ণ সৃষ্টিকারী আলোকতরঙ্গের [Vibgyor বা বেনীয়াসহকলা (বে—বেগুণী, নী—নীল, য়া—আকাশী, স—সবুজ, হ—হলুদ, ক—কমলা, লা—লাল)] সংমিশ্রণে বস্তুটিকে সাদা দেখায়। উষ্ণতা আরও বাড়িলে ক্ষুদ্র দৈর্ঘ্যের তরঙ্গ আরও অধিক পরিমাণে বিকীর্ণ হয়। বিকীর্ণ অতিবেগুনী তরঙ্গ আপতিত হইলে চক্ষু ক্ষতিগ্রস্ত হইতে পারে। সূর্য একটি জ্বলন্ত সাদা-জ্বল্‌জলে বিরাটাকার বস্তুপিণ্ড। প্রধানতঃ ইহা হইতে আমরা সকল রকমের তাপ ও আলোদানকারী বিকিরণ পাইয়া থাকি। পার্থিব কোন বস্তু হইতে ঐ সমুদয় তরঙ্গ উৎপন্ন করিতে হইলে বস্তুটির তাপমাত্রা অত্যধিক বাড়াইতে হয়।

১১৩। বিকীর্ণ তাপের কয়েকটি ধর্ম :—

(১) বিকীর্ণ তাপ শূন্য স্থান দিয়া অথবা বায়ুর মধ্য দিয়া সর্বদিকে সমবেগে ধাবিত হয়। তাপের গতিবেগ ও আলোকের গতিবেগ সমান (3×10^{10} সে.মি, প্রতি সেকেণ্ডে)।

সূর্যগ্রহণ সুরু হইলে তাপ ও আলোক একই সঙ্গে বন্ধ হইয়া যায়। ইহা হইতেই বোঝা যায় যে, ইহাদের গতিবেগ সমান।

(২) তাপ ও আলোকরশ্মি নিয়মিতভাবে প্রতিফলিত (reflected) ও প্রতিসৃত (refracted) হয় এবং প্রতিফলন ও প্রতিসরণের সূত্রাবলীও এক। আবার উভয়ই পদার্থের উপর আপতিত হইলে কিয়ৎপরিমাণে বিক্ষিপ্ত (scattered) হয়।

(৩) বিকীর্ণ তাপ কোন পদার্থের উপরে পড়িলে কতটা তাপ শোষিত হইবে বা কতটা উহার মধ্য দিয়া নিষ্ক্রান্ত হইবে তাহা ঐ পদার্থের প্রকৃতি এবং আপতিত তাপের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের উপর নির্ভর করে।

(৪) কোন বিন্দুতে বিকীর্ণ তাপের তীব্রতা (intensity of radiation) (অর্থাৎ, প্রতি একক ক্ষেত্রফলের উপর একক সময়ে আপতিত তাপের পরিমাণ) বিকিরক (radiator) হইতে উক্ত বিন্দুর দূরত্বের বর্গের সহিত ব্যস্তানুপাতিক। আলোর ক্ষেত্রেও এই ব্যস্তবর্গসূত্র সমভাবে প্রযোজ্য।

১১৪। কোন পদার্থের বিকিরণক্ষমতা (Emissive power) এবং শোষণক্ষমতা (Absorptive power) :—কোন পদার্থপৃষ্ঠ হইতে কি হারে তাপ বিকীর্ণ হইবে অথবা উহা কর্তৃক কি হারে তাপ শোষিত হইবে তাহা নিম্নলিখিত উৎপাদকসমূহের উপর নির্ভর করে—(১) পৃষ্ঠটির ভৌত প্রকৃতি, (২) বস্তুটির উষ্ণতা এবং পরিমণ্ডলের উষ্ণতা, (৩) বস্তুটির পদার্থগত গুণ। ইহা প্রমাণিত হইয়াছে যে, একটি উত্তমগুণ তাপশোষক সর্বদাই উত্তম তাপ বিকীরকও হইয়া থাকে, আর মন্দ বিকীরক সর্বদাই মন্দ তাপশোষক হইয়া থাকে। চক্‌চকে পৃষ্ঠ অনুজ্জ্বল পৃষ্ঠ অপেক্ষা কম তাপ বিকীর্ণ করিতে পারে। আবার চক্‌চকে পৃষ্ঠ অনুজ্জ্বল পৃষ্ঠ অপেক্ষা কম তাপ শোষণ করিয়া থাকে, অর্থাৎ কোন বস্তুর বিকিরণ ও শোষণের ক্ষমতার মধ্যে ঘনিষ্ঠ সম্পর্ক বিদ্যমান।

কৃষ্ণ বস্তু (Black body).—আদর্শ কৃষ্ণ বস্তু উহার উপর আপতিত সবটুকু বিকীর্ণ তাপই নিঃশেষে শোষণ করিয়া নেয়, অর্থাৎ আপতিত তাপের কোন অংশই ঐ পদার্থ হইতে নিয়মিত বা অনিয়মিত ভাবে প্রতিফলিত হয় না, আবার উহার মধ্য দিয়া বহির্গতও হয় না। আদর্শ শোষক বলিয়া এইরূপ কৃষ্ণ বস্তুর আদর্শ বিকিরকের ধর্মও আছে। যে-কোন নির্দিষ্ট উষ্ণতায় আদর্শ কৃষ্ণ বস্তু দ্বারা বিকীর্ণ তাপ হয় সর্বাপেক্ষা বেশি। এইজন্য কৃষ্ণ বস্তু হইতে বিকীর্ণ তাপকে 'সম্পূর্ণ বিকীরণ' (full radiation) বলা হইয়া থাকে। ল্যাম্প ব্ল্যাক 95% কৃষ্ণ। প্ল্যাটিনাম ব্ল্যাক 98% কৃষ্ণ। দেখা গিয়াছে যে, চতুর্দিক বন্ধ এবং নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় রক্ষিত কোন আধারের মধ্যবর্তী বিকিরণ কৃষ্ণ-বিকিরণের গুণাগুণসম্পন্ন। এইভাবে বদ্ধ আধারে খুব ছোট একটি ফুটা রাখিয়া উহার মধ্য দিয়া বহিরাগত বিকিরণকে ঐ তাপমাত্রায় কৃত্রিমভাবে উৎপন্ন কৃষ্ণ-বিকিরণ (black-body radiation) হিসাবে গ্রহণ করা চলে।

বিভিন্ন পৃষ্ঠের বিকিরণের গুণাগুণকে উহাদের বিকিরণ-ক্ষমতার (emissive power) দ্বারা তুলনা করা হয়। কোন পৃষ্ঠের একক ক্ষেত্রফল হইতে নির্দিষ্ট উষ্ণতায় একক সময়ে যতটা তাপ বিকীর্ণ হয়, আর ঐ একই মানের নির্দিষ্ট উষ্ণতায় একটি আদর্শ কৃষ্ণ পৃষ্ঠের একক ক্ষেত্রফল হইতে একক সময়ে যে তাপ বিকীর্ণ হয়, এই দুইটি তাপ-পরিমাণের অনুপাতই লইল প্রথমোক্ত পৃষ্ঠের বিকিরণ-ক্ষমতা।

বিকিরণ-ক্ষমতা (emissive power) এবং **বিকিরণতা** (emissivity) দুইটি স্বতন্ত্র কথা। কোন বস্তুর বিকিরণতা হইল উহার পৃষ্ঠের একক ক্ষেত্রফল হইতে একক সময়ে পরিমণ্ডল হইতে বস্তুটির এক ডিগ্রী অতিরিক্ত উষ্ণতার জন্য বিকীর্ণ তাপের

পরিমাণ। যদি θ_1 কোন পদার্থের উষ্ণতা এবং θ_2 উহার পরিমণ্ডল বা পরিবেশের উষ্ণতা হয় তাহা হইলে উক্ত বস্তুর অতিরিক্ত উষ্ণতা, $\theta=\theta_1-\theta_2$। যদি বস্তুটির পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল s এবং বিকিরণতা α হয়, তাহা হইলে বস্তুটির পৃষ্ঠ হইতে প্রতি সেকেণ্ডে বিকীর্ণ তাপ, $Q=\alpha\times s\times\theta$; অথবা, $\alpha=\dfrac{Q}{s\times\theta}$ ক্যালরি-সে.মি.$^{-2}$ ডিগ্রী সে.$^{-1}$ (যদি θ ডিগ্রী সে.তে এবং অন্যান্য উপাত্তগুলি সি. জি. এস্. এককে দেওয়া থাকে)। বিকিরণ-ক্ষমতা হইল $\theta_1{}^\circ$ তাপমাত্রায় আদর্শ কৃষ্ণ পদার্থের তুলনায় উপরোক্ত অবস্থাধীন বস্তুটির বিকিরণতার অনুপাত।

তাপশোষণ-ক্ষমতা।—বিভিন্ন প্রকার পৃষ্ঠের তাপশোষণের ধর্মকে উহাদের তাপ-শোষণ-ক্ষমতা দ্বারা মাপা হয়। কোন বস্তুপৃষ্ঠের তাপশোষণ-ক্ষমতাকে ঐ পৃষ্ঠের শোষণ-গুণাঙ্ক (coefficient of absorption)-ও বলা হইয়া থাকে। যদি কোন পৃষ্ঠের উপর প্রতি সেকেণ্ডে Q তাপ আপতিত হয় এবং উহার Q_1 অংশ পৃষ্ঠটি দ্বারা শোষিত হয় তাহা হইলে উক্ত পৃষ্ঠের তাপশোষণ-ক্ষমতা অথবা শোষণ-গুণাঙ্ক $=\dfrac{Q_1}{Q}$ হইবে। কালো রংএর পদার্থ উত্তম বিকিরক এবং উত্তম শোষক। সাদা বা চক্‌চকে (বা উজ্জ্বল) পদার্থ মন্দ বিকিরক ও মন্দ শোষক। এইজন্যই গ্রীষ্মকালে কালো পোষাক না পরিয়া সাদা পোষাক পরিলে শরীর অপেক্ষাকৃত ঠাণ্ডা থাকে। আবার শীতকালে সাদা পোষাক না পরিয়া কালো পোষাক পরিলে শরীর গরম থাকে। একই কারণে দিনে সাদা পোষাক ও রাত্রে কালো পোষাক পরা ভাল।

কির্সফের সূত্র (Kirchhoff's Law).—সূত্রটি এই, 'কোন বস্তুর বিকিরণ-ক্ষমতা ও শোষণক্ষমতার অনুপাত ধ্রুব'। সূত্রটি তাত্ত্বিক এবং পরীক্ষাগত উভয়রূপেই প্রমাণ-উত্তীর্ণ। উত্তম বিকিরক যে উত্তম শোষক হইবে তাহা কির্সফের সূত্র হইতেও বোঝা যায়।

১১৫। বিভিন্ন পদার্থের তাপস্বচ্ছতা (Diathermancy):—পূর্বেই বলা হইয়াছে যে, মাধ্যমকে উত্তপ্ত না করিয়া আপতিত তাপের যে অংশ কোন পদার্থের মধ্য দিয়া চলিয়া যায় তাহাই উক্ত পদার্থের তাপস্বচ্ছতার পরিমাপ। শূন্য স্থান (vacuum) সম্পূর্ণ তাপস্বচ্ছ। বিভিন্ন বস্তুর তাপস্বচ্ছতা আপন আপন প্রকৃতি অনুযায়ী বিভিন্ন। কোন পদার্থের 1 সে.মি. পুরু একটি প্লেটের উপর যে পরিমাণ তাপ আপতিত হয় তাহা দ্বারা উক্ত প্লেটের মধ্য দিয়া সঞ্চালিত তাপের পরিমাণকে ভাগ

করিলে যে অনুপাত পাওয়া যায় উহাকে উক্ত পদার্থের তাপসঞ্চালন-গুণাঙ্ক (coefficient of transmission) বলে। তাপবিকিরকের তাপমাত্রা এবং পরীক্ষাধীন বস্তুর বেধের উপর এই গুণাঙ্কর মান কিছুটা নির্ভর করে।

তাপস্বচ্ছ নানা পদার্থের মধ্যে সর্বোত্তম হইল রক্‌সল্ট (খনিজ লবণ)। ইহার মধ্য দিয়া আপতিত রশ্মির প্রায় 93% চলিয়া যায়। সাধারণ কাঁচের মধ্য দিয়া সৌর তাপের 50% চলিয়া যায়। কিন্তু অপেক্ষাকৃত কম উষ্ণতাসম্পন্ন (লাল-গন্‌গনে হওয়ার পূর্বের) বস্তু দ্বারা বিকীর্ণ তাপের প্রায় সবটুকুই সাধারণ কাঁচ শোষণ করিয়া নেয়।

(ক) গ্রীন-হাউস (green-house).—গ্রীন-হাউসের দেওয়ালের কাঁচগুলির মধ্য দিয়া সূর্যের তাপ গ্রীন-হাউসের ভিতরে ঢুকিতে পারে। ভিতরের বস্তুগুলি ঐ তাপ শোষণ করিয়া উষ্ণ হয় এবং তাপ বিকিরণ করিতে পারে। অপেক্ষাকৃত কম উষ্ণতায় বিকীর্ণ বলিয়া এই তাপতরঙ্গের দৈর্ঘ্য অপেক্ষাকৃত অধিক হয়। কাঁচ এই দীর্ঘ তাপতরঙ্গের নিকট অস্বচ্ছ বলিয়া গ্রীন-হাউসের ভিতরের তাপ বাহিরে যাইতে পারে না, ভিতরেই আবদ্ধ থাকে। গ্রীন-হাউসের ভিতরটা তাই সর্বদা গরম থাকে। গাছের চারাগুলির পুষ্টির জন্য এই তাপসংরক্ষণ করা হয়।

(খ) কাঁচের অগ্নি-আচ্ছাদক (glass fire-screens).—ইহা এক প্রকারের বিশেষ ধরণের কাঁচে প্রস্তুত হয়। ইহা আপতিত বিকিরণের সমুদয় তাপ-অংশ শোষণ করিয়া লয় (এবং পরে আবার বিকিরণ করে) কিন্তু আলোক-অংশকে ভিতর দিয়া চলিয়া যাইতে দেয়। এইরূপ পর্দা ব্যবহার করিলে নির্গত আলোতে মন প্রসন্ন হয় কিন্তু চক্ষুদ্বয় ঝল্‌সান তাপ হইতে রক্ষা পায়।

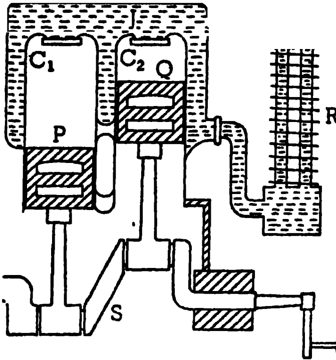
(গ) শুষ্ক বায়ু ও আর্দ্র বায়ু—

শুষ্ক বায়ু এবং অন্যান্য গ্যাস.—শুষ্ক বায়ু ও অন্যান্য গ্যাসের মধ্য দিয়া তাপ অবাধে চলিয়া যাইতে পারে। ইহারা খুব কম তাপই শোষণ করিয়া লয়। উন্মুক্ত আগুনের ধারে দাঁড়াইলে অত্যন্ত গরম লাগে। বায়ুর মধ্য দিয়া বিকীর্ণ তাপ চলিয়া আসে তাহাই ইহার কারণ।

আর্দ্র বায়ু.—জল শতকরা 90 ভাগ বিকীর্ণতাপ শোষণ করিয়া লয় এবং শতকরা 10 ভাগকে উহার মধ্য দিয়া যাইতে দেয়। জলে ফটকিরি গুলিলে আরও অধিক তাপ ইহার মধ্য দিয়া যাইতে পারে। বায়ুমণ্ডলের জলীয় বাষ্প আমাদের উষ্ণতার অনুভূতিকে বিশেষভাবে প্রভাবিত করে। শুষ্ক বায়ু অপেক্ষা আর্দ্র বায়ু শতকরা 30 হইতে 70 ভাগ পর্যন্ত অধিক তাপ শোষণ করিয়া লইতে পারে। এইভাবে জলীয় বাষ্পসমন্বিত বায়ুমণ্ডল

একটি আচ্ছাদনের মত আমাদিগকে সূর্যের প্রখর তাপ হইতে রক্ষা করে। রাত্রে উত্তপ্ত পৃথ্বী তাপ বিকিরণ করিতে থাকে। কিন্তু পৃথিবীর তাপমাত্রা কম থাকে বলিয়া ঐ বিকিরণের তরঙ্গদৈর্ঘ্য খুব বেশি হয়। আর্দ্র বায়ু ঐ বিকিরণ সহজেই শোষণ করিয়া লয়। এইভাবে আর্দ্র বায়ুমণ্ডল পৃথিবীর তাপমাত্রার নিয়ামকের কাজ করে। মরুভূমির বায়ুতে জলীয় বাষ্প প্রায় থাকেই না। এইজন্য সেখানে দিনমান থাকে ভয়াবহ রকমের গরম এবং রাত্রি হয় অত্যধিক শীতল।

১১৬। **অটোমোবাইল ইঞ্জিনের (Automobile Engine বা মোটর গাড়ীর ইঞ্জিন) শীতলীকরণ ব্যবস্থা** ঃ—মোটর গাড়ীর ইঞ্জিনে জ্বালানীর দহনে সৃষ্ট তাপমাত্রা খুব বেশি হইলে ইঞ্জিনের নিপুণতা (efficiency) বাড়ে সন্দেহ নাই। কিন্তু এই উচ্চ তাপমাত্রা ইঞ্জিনের কতগুলি অংশের পক্ষে ক্ষতিকর হইতে পারে। অধিকন্তু, ইহাতে পূর্বজ্বলন (pre-ignition) এবং আকস্মিক বিস্ফোরণের (detonation) বিপদ দেখা দিতে পারে। এইজন্য ইঞ্জিন সিলিণ্ডার (engine cylinder) এবং ভাল্‌ভগুলির উষ্ণতা নির্দিষ্ট সীমার মধ্যে রাখিতে হয়। তাপমাত্রা উপযুক্তরূপে কমাইবার জন্য স্বাভাবিক বিকিরণ বা পরিচলনের উপর নির্ভর করিলে চলে না। পাখা ঘুরাইয়া পরিচলন-ক্রিয়া বাড়ান হয় বটে, ইহাতে তাপত্যাগ যথেষ্ট হয় না। শীতলীকরণের জন্য আরও বিশেষ ব্যবস্থা রাখিতে হয়। চিত্র ৬২তে এই ব্যবস্থা দেখান হইয়াছে। C_1 সিলিণ্ডারের মধ্যে P-পিস্টন এবং C_2-সিলিণ্ডারের মধ্যে Q-পিস্টন কাজ করে ; দুইটি পিস্টনই একটি সাধারণ ঘূর্ণনদণ্ডে (S) যান্ত্রিক শক্তির যোগান দেয়। সিলিণ্ডার-দুইটির তিন দিক জ্যাকেট (Jacket) ঘেরা থাকে। এই জ্যাকেট জলপূর্ণ রাখা হয়। Rকে রেডিয়েটার বলা হয়। ইহা একটি বিশেষ বিকিরক মাত্র। তাড়াতাড়ি তাপত্যাগের জন্য ইহার দরকার। ইহা একটি ধাতুনির্মিত খাড়াভাবে বসান চ্যাপ্টা বাক্সবিশেষ। উপরে ও নীচে দুইটি নলের সাহায্যে বাক্সটির অভ্যন্তরভাগ সিলিণ্ডারগুলির চতুর্দিকের জ্যাকেটের অভ্যন্তরভাগের সহিত যুক্ত থাকে।

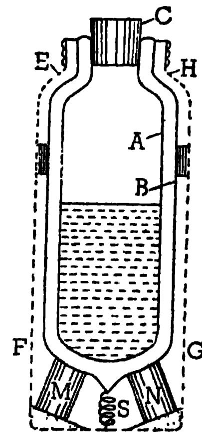


চিত্র ৬২

রেডিয়েটরের গাত্রে এক ধরণের ধাতব পাখ্‌না (metallic fine) লাগান হয়। ইহার ফলে বিকিরক-পৃষ্ঠের কার্যকর ক্ষেত্রফল বহুল পরিমাণে বৃদ্ধি পায়। জল উত্তপ্ত হইয়া বাষ্পে পরিণত হইলে জ্যাকেটের উপরের একটি খোলা মুখ দিয়া উহা বাহির হইয়া যায়। জলের আপেক্ষিক তাপ এবং বাষ্পীভবনের লীন তাপ উভয়ই অধিক বলিয়া জল অধিক পরিমাণে বাষ্পে পরিণত না হইয়াও ইহা ইঞ্জিন হইতে প্রচুর তাপ অপসারণ করিতে পারে। তাপ সৃষ্ট হয় সিলিণ্ডারের মধ্যে, জ্বালানীর দহন হইতে। জ্যাকেটের জল গরম হইয়া উপরে ওঠে ও উপর দিকের নল দিয়া রেডিয়েটরে প্রবেশ করে। রেডিয়েটরের দ্বারা শীতল হইয়া ঐ জল নীচের নলের মধ্য দিয়া জ্যাকেটে প্রবেশ করে। এইভাবে পরিচলন-প্রবাহের সৃষ্টি হয়। উত্তপ্ত জল রেডিয়েটরে প্রবেশ করিলে রেডিয়েটরের বিস্তৃত পৃষ্ঠ হইতে তাপ দ্রুত বাহিরের বায়ুতে বিকীর্ণ হয়।

১২। থার্মোফ্লাস্ক বা ডিউয়ারের ফ্লাস্ক :—এই ফ্লাস্ক অনেকের নিকটই সুপরিচিত। ইহার মধ্যে রাখিয়া দিলে গরম জিনিষ গরম থাকে, ঠাণ্ডা জিনিষ ঠাণ্ডা থাকে। ইহার অর্থ এই যে, ফ্লাস্কের অভ্যন্তরভাগ এবং বাহিরের মধ্যে তাপ চলাচল ইহাতে হয় না। পরিচলন, পরিবহন ও বিকিরণ—এই তিন প্রকারেরই তাপসঞ্চালন ইহাতে রহিত করার ব্যবস্থা আছে।

ইহা মূলতঃ একটি দুই-দেওয়ালবিশিষ্ট কাঁচের পাত্র। চিত্র ৬৩তে A হইল ভিতরের এবং B বাহিরের দেওয়াল। দুই-দেওয়ালের মধ্যবর্তী বায়ু বাহিরের দেওয়ালের একটি সূক্ষ্ম ছিদ্রের (S) মধ্য দিয়া নিষ্কাশিত করিয়া ফেলা হয়। তারপর ঐ মুখটি সীল করিয়া দেওয়া হয়। ভিতরের দেওয়ালের বাহিরের দিক এবং বাহিরের দেওয়ালের ভিতরের দিক্‌ রৌপ্যমণ্ডিত (silvering) করিয়া চক্‌চকে আয়নার মত করা হয়। ফ্লাস্কটি একটি ধাতব আধারের মধ্যে কয়েকটি অপরিবাহী প্যাডের (M, N, ইত্যাদি) উপর বসাইয়া রাখা হয়। সীলটি (S) সযত্নে রক্ষা করা দরকার বলিয়া ইহা একটি স্প্রিংএর উপর বসান থাকে। ফ্লাস্কের মুখ একটি কর্কের ছিপি (C) দিয়া বন্ধ করা হয়। একটি প্যাচের ঢাকনি ফ্লাস্কের আধারের মাথায় লাগাইয়া দিলে ছিপিটি সহজে খুলিয়া যাইতে পারে না।



চিত্র ৬৩

পাত্রের মধ্যে কোন তরল পদার্থ বা অন্য কোন বস্তু রাখা যাইতে পারে। পরিবহন

ও পরিচলন পদ্ধতিতে ভিতর ও বাহিরের মধ্যে তাপচলাচল সম্ভব হয় না, কারণ উভয়ের মধ্যে রহিয়াছে শূন্যতার ব্যবধান। মুখোমুখী দুইটি চকচকে দেওয়াল থাকাতে বিকীর্ণ তাপরশ্মি ভিতরে ঢুকিতে বা ভিতর হইতে বাহিরে যাইতে পারে না। যৎসামান্য তাপ অবশ্য কাঁচের গা বাহিয়া এবং কর্কের ছিপির মধ্য দিয়া পরিবাহিত হয়। কু-পরিবাহী পদার্থ দিয়া ধাতব আধার ও ফ্লাস্কের মধ্যবর্তী স্থান পূর্ণ করিয়া দিলে ফ্লাস্কের অভ্যন্তরস্থ বস্তুর পক্ষে তাপ ত্যাগ বা তাপ লাভ আরও কম হয়।

ডিউয়ার সাহেব তরলীকৃত গ্যাস (ইহাদের স্ফুটনাঙ্ক খুব নিম্ন তাপমাত্রার) রাখিবার জন্য এই ফ্লাস্ক উদ্ভাবন করিয়াছিলেন। তরল বায়ু, তরল অক্সিজেন, তরল নাইট্রোজেন, তরল হাইড্রোজেন ইত্যাদি গরম দিনেও ভাল ডিউয়ারের মধ্যে কয়েক দিন যাবৎ ধরিয়া রাখা যায়। একটি সাধারণ ডিউয়ারের মধ্যে গরম পানীয় রাখা হইলে বহু ঘণ্টা ধরিয়া উহা গরম থাকে।

Examples

1. Find the quantity of heat that will pass in 1 hour across a plate of copper 1 sq. metre in area and 5 cm. thick, the temperatures of the two faces being 90°C. and 80°C. The conductivity of copper is 0·92 c.g.s. unit.

উত্তর ঃ নির্ণেয় তাপের পরিমাণ, $Q=\frac{K.A.(\theta_1-\theta_2).t}{d}$ ক্যালরি

$=\frac{0{\cdot}92\times10^4(90-80)\times60\times60}{5}$ ক্যালরি $=6{\cdot}624\times10^7$ ক্যালরি।

2. An iron boiler 1·25 cms. thick contains water at atmospheric pressure. The heated surface is 2·5 square metres in area and the temperature of the underside is 120°C. If the thermal conductivity of iron is 0·2 and the latent heat of vaporisation of water is 536 calories per gm., find the mass of water turned into steam per hour.

উত্তর ঃ প্রতি ঘণ্টায় পরিবহন দ্বারা স্থানান্তরিত তাপের পরিমাণ

$=Q=\frac{K\,A.(\theta_1-\theta_2)\,t}{d}=\frac{0{\cdot}2\times2{\cdot}5\times10^4\times(120-100)\times3600}{1{\cdot}25}$ (এক বায়ুমণ্ডলীয় চাপে জলের স্ফুটনাঙ্ক 100° সে. বলিয়া) $=288\times10^6$ ক্যালরি।

এক বায়ুমণ্ডলীর চাপে 536 ক্যালরি তাপ দ্বারা 1 গ্রাম জল স্টীমে পরিণত হয়। অতএব 1 ঘণ্টায় স্টীমে পরিণত হইবে $\frac{288\times10^6}{536}$ গ্রাম জল। অতএব 1 ঘণ্টায় স্টীম হইবে $\frac{288\times10^6}{536}$ গ্রাম=537,313 গ্রাম=537 কিলোগ্রাম (প্রায়)।

Exercises

1. Explain the different modes of transference of heat giving suitable examples.

2. What do you understand by the variable state and the steady state of heating ? Which state would you look for in determining thermal conductivity by Ingen Hausz's method ?

3. Describe an experiment to compare the thermal conductivities of different metals in the form of rods.

4 (*i*) Explain the use of the wire-gauze surrounding the flame in the lamp used in coal mines. (*ii*) Explain the use of the wire-gauze which is usually placed on a tripod stand and heated by a Bunsen flame from below in heating a body.

5. Define thermal conductivity. What do you mean by thermal conductivity in c.g.s. units ?

6. Which will give you better protection against cold, one thick shirt or two of half the thickness each, the material being the same ?

7. If the inside surface of a glass window 5 mm. thick is at a temperature of 15°*C*. and the outside surface is at a temperature of 0°*C*., how much heat escapes through a square centimetre of the window in a minute ? Conductivity of glass=0·001 c g s. unit. উত্তর : 1·8 ক্যালরি।

8. A metal vessel,, 1 sq. metre in area, and whose sides are 5 mm. thick, is filled with melting ice, and is kept surrounded by water at 100°*C*. How much ice will be melted in an hour ? Conductivity of the metal=0·02 c.g.s. unit. উত্তর : 1,800 কিলোগ্রাম।

9. Explain how convection currents are set up in the atmosphere. A beaker containing water is heated from below. The water attains a uniform temperature after a time although the conductivity of water is quite low. How ?

10. Explain a simple method of heating a building by hot water circulating from a boiler placed at the basement.

11. Describe a simple experiment to illustrate the principle of ventilation.

12. Explain why we get land-breeze during night and sea-breeze during day.

13. The climate of an island is more equable than that of continental countries. Explain this statement.

14. What do you mean by the term 'radiant heat'? How does it differ from light ?

15. Describe some of the important properties of radiant heat.

16. Distinguish between a diathermanous and an adiathermanous substance. Discuss the behaviour of ordinary glass in this context. Why is glass used to construct the walls of a green-house ?

17. A clear piece of rock-salt, a bright piece of tin-plate and a piece of black-wood are exposed to the radiation from a fire. Discuss the final state of each as regards temperature.

18. Should a kettle intended to be heated by radiant heat be white or black ? Give reasons for your answer,

19. In deserts we have intensely hot days and extremely cold nights. Explain the reason.

20. Describe a thermos flask. Explain how such construction enables a liquid placed in the flask to be thermally isolated.

আলোকবিজ্ঞান

প্রথম পরিচ্ছেদ

প্রারম্ভিক বিষয়াদি : আলোকের ঋজুরেখ গতি (Rectilinear propagation of light) : ছায়া (Shadow) : ফোটোমিতি (Photometry) ।

১। **আলোক কাহাকে বলে :**—চক্ষু দিয়া আমরা চতুষ্পার্শের বস্তুসমূহ দেখিতে পাই। চক্ষু আমাদের পঞ্চেন্দ্রিয়ের এক ইন্দ্রিয়। কিন্তু কেবল চক্ষু থাকিলেই বস্তু দেখা যায় না। দৃশ্য বস্তু হইতে 'কোন কিছু' আমাদের চক্ষে আসিয়া উপনীত হয়, তবেই আমরা বস্তুটিকে দেখিতে পাই। ঐ 'কোন কিছু'র অনুপস্থিতিতে বস্তুটিকে আমরা দেখিতে পাই না। রাত্রে ঘরে বাতি জ্বালিলে ঘরের সকল বস্তুই দৃষ্টিগোচর হয়, কিন্তু বাতি নিভাইলে সেগুলি আর দেখা যায় না, অথচ বস্তুগুলি যথাস্থানেই বর্তমান থাকে। এক্ষেত্রে বাতি হইতে আমরা এমন 'কোন কিছু' পাই যাহা ছাড়া আমাদের দর্শনেন্দ্রিয় বস্তুগুলি দেখিতে পায় না। বাহিরের এই যে এমন 'কোন কিছু'

যাহা ব্যতিরেকে কোন বস্তুকে আমরা দেখিতে পাই না—দেহবাহ্য এই যে কারণ যাহা দর্শনকার্য করায় তাহারই নাম আলোক। ইহা শক্তির বিভিন্ন রূপের একটি রূপ বিশেষ। আলোক এক প্রকারের বিকীর্ণ শক্তি। বিজ্ঞানের তরঙ্গবাদ অনুযায়ী বিকীর্ণশক্তি নানা তরঙ্গদৈর্ঘ্যের এক বিকিরণসমষ্টি। ইহার মধ্যে একটি নির্দিষ্ট পাল্লার তরঙ্গমালা আমাদের দর্শনেন্দ্রিয় চক্ষুকে উদ্দীপিত করিতে পারে। কোন বস্তু হইতে ঐরূপ তরঙ্গ চক্ষুতে পৌছিলে আমাদের দৃষ্টিবোধ হয়। অতএব আলোক হইল এইরূপ একটি বিকীর্ণ দেহবাহ্য শক্তি যাহা আমাদের চোখে পড়িলে দেখার অনুভূতি জন্মে। আলো আমরা চোখে দেখিতে পাই না। ইহার সাহায্যে আমরা বস্তুসমূহকে দেখিতে পাই।

২। আলোকবিজ্ঞান—জ্যামিতিক আলোকবিজ্ঞান এবং ভৌত আলোক-বিজ্ঞান (Geometrical optics and Physical optics) :—

পদার্থবিজ্ঞানের যে শাখায় আলোকসম্বন্ধে আলোচনা করা হয় উহার নাম আলোক-বিজ্ঞান (Optics)। আলোকবিজ্ঞানের দুইটি শাখা আছে—জ্যামিতিক আলোক-বিজ্ঞান এবং ভৌত আলোকবিজ্ঞান।

জ্যামিতিক আলোকবিজ্ঞান (Geometrical optics).—এই শাখায় আলোর স্বরূপসম্বন্ধে কোন তাত্ত্বিক বিচার না করিয়া আলোর গতি ঋজুরেখ ধরিয়া লইয়া, সরল জ্যামিতির সাহায্যে ছায়া (shadow) ও প্রতিবিম্ব (image)-গঠন আলোচনা করা হয়। জ্যামিতিক আলোকবিজ্ঞানের প্রধান ভিত্তি হইল প্রতিফলন ও প্রতিসরণের সূত্রাবলী। এইগুলির সাহায্যে দর্পণ, লেনস্ ও প্রিজ্‌ম ইত্যাদির ক্ষেত্রে আলোকের দিক্-পরিবর্তনের জ্যামিতিক ব্যাখ্যা দেওয়া হয়।

ভৌত আলোকবিজ্ঞান (Physical optics).—আলোকবিজ্ঞানে জ্যামিতিক পদ্ধতিতে নানা তথ্যের যে ব্যাখ্যা দেওয়া হয় তাহা স্থূলধরণের। তাহা ছাড়া আলোকের কতকগুলি ক্রিয়া জ্যামিতিক আলোকবিজ্ঞানের সূত্রাবলীর সাহায্যে একেবারেই ব্যাখ্যা করা যায় না। আলোকসম্বন্ধে প্রকৃত জ্ঞান লাভ করিতে হইলে বা আলোকসংক্রান্ত সমুদয় ঘটনাবলীর সন্তোষজনক ব্যাখ্যা দিতে হইলে আলোকের স্বরূপ বোঝা দরকার। আলোক তরঙ্গরূপে বহিয়া চলে এই ধারণার সাহায্যে আলোকসংক্রান্ত কতকগুলি ঘটনার ব্যাখ্যা দেওয়া যায় ; আবার, আলোক ফোটন কণার সমষ্টি (কোয়ান্টামবাদ অনুযায়ী) মনে করা হইলে, অন্য কতকগুলি ঘটনার সহজ ব্যাখ্যা দেওয়া যায়। আধুনিক বিজ্ঞানেও শক্তির এই দ্বৈত রূপ স্বীকার করা হয়। ভৌত আলোকবিজ্ঞানে আলোর তত্ত্বসম্মত ধারণা

প্রয়োগ করিয়া আলোকসংক্রান্ত নানা বিষয়ের ঘটনাবৈচিত্র্য উপলব্ধি করার চেষ্টা করা হয়।

৩। **আলোক শক্তির একটি রূপ**:—শক্তির অনেক রূপ আছে, আলোক ইহার মধ্যে একটি। অন্যান্য সকল শক্তির ন্যায় আলোকের বেলাও শক্তির সংরক্ষণসূত্র একইভাবে প্রযোজ্য। অর্থাৎ, আলোক অবিনাশ্য এবং ইহা অন্য শক্তিতে রূপান্তরিত হইতে পারে, আবার অন্য যে-কোন শক্তিও আলোকশক্তিতে রূপান্তরিত হইতে পারে।

একখণ্ড পাথরের সহিত আর-একখণ্ড পাথর ঘষিলে যান্ত্রিক শক্তি রূপান্তরিত হইয়া উহার খানিকটা স্ফুলিঙ্গাকারে আলোকশক্তিতে পরিণত হয়। কোন পদার্থপৃষ্ঠের উপর আলোক পতিত হইলে এক যান্ত্রিক চাপ সৃষ্ট হয়। ১৯০০ খৃষ্টাব্দে লেবেডিউ এইভাবে উৎপন্ন যান্ত্রিক চাপের সাহায্যে একখানি পাতলা পাতার চাকাকে ঘুরাইয়াছিলেন।

কোন পদার্থের দহনের সময় ঐ পদার্থের সহিত বায়ুর অন্তর্গত অক্সিজেনের মিলনে যে রাসায়নিক শক্তি মুক্ত হয় উহা তাপ ও আলোক শক্তি হিসাবে আত্মপ্রকাশ করে। আবার, একখানি ফোটো তোলার প্লেটে আলোক পতিত হইলে আলোকশক্তি ঐ প্লেটে রাসায়নিক ক্রিয়া ঘটায় অর্থাৎ রাসায়নিক শক্তিতে উহা রূপান্তরিত হইয়া যায়।

বিজলী বাতির সূক্ষ্মতারের মধ্য দিয়া বিদ্যুৎ বহিতে থাকিলে বৈদ্যুতিক শক্তি তাপ এবং আলোক শক্তিতে রূপান্তরিত হয়। ইহার ঠিক বিপরীত ঘটনা ঘটে টকী (talkie) ও টেলিভিসনের মুখ্যযন্ত্র ফোটো-সেলে। ফোটো-সেলের উপর আপতিত আলোকশক্তি বিদ্যুৎশক্তিতে পরিণত হয়।

৪। **গোড়াকার কয়েকটি কথা**:—**আলোকমাধ্যম** (optical medium).—পদার্থপূর্ণ অথবা পদার্থশূন্য যে স্থানের মধ্য দিয়া আলো যায় উহাকে সাধারণভাবে আলোকমাধ্যম বা শুধু মাধ্যম বলা হয়। মাধ্যমের সর্ব স্থান একই রকম হইলে ইহাকে সর্বত্র সমধর্মী (isotropic or homogeneous) মাধ্যম বলা হয়, আর বিভিন্ন স্থানে বা বিভিন্ন দিকে গুণাগুণের কোন পার্থক্য থাকিলে ইহাকে বিসমধর্মী (heterogenous) মাধ্যম বলা হয়।

স্বয়ংপ্রভ (self-luminous) **এবং নিষ্প্রভ** (non-luminous) **বস্তু**.—আমাদের চতুর্দিকের সকল বস্তুই হয় স্বয়ংপ্রভ, না হয় নিষ্প্রভ। যে বস্তু হইতে আলোক স্বতঃই বিকীর্ণ হইতে থাকে উহাকে স্বয়ংপ্রভ বস্তু বলা হয়। স্বয়ংপ্রভ বস্তুকে আলোকের উৎস হিসাবে ব্যবহার করা চলে। যে বস্তু স্বয়ং কোন আলোক বিকীর্ণ

করিতে পারে না উহাকে নিষ্প্রভ বলা হয়। মৃত্তিকা, কাঠ, পাথর, কাগজ, জল, ইত্যাদি বিশ্বের অধিকাংশ পদার্থই নিষ্প্রভ। চন্দ্রও একটি নিষ্প্রভ বস্তু।

নিষ্প্রভ বস্তুসমূহ **স্বচ্ছ, ঈষদচ্ছ** ও **অস্বচ্ছ** এই তিন রকমের হইতে পারে।

আলো শোষিত না হইয়া (অথবা খুব অল্প পরিমাণ শোষিত হইয়া) কোন পদার্থের মধ্য দিয়া যাইতে পারিলে উক্ত পদার্থকে স্বচ্ছ বলা হয়। স্বচ্ছ পদার্থের মধ্য দিয়া কোন বস্তুকে স্পষ্টরূপে দেখা যাইবে। বায়ু, পাত্‌লা কাঁচ, পরিষ্কার অগভীর জল, ইত্যাদি পদার্থ স্বচ্ছ।

ঈষদচ্ছ বস্তুর মধ্য দিয়া আপতিত (incident) আলোকের কিছু অংশ সঞ্চালিত (transmitted) হইতে পারে। তৈলাক্ত কাগজ, ঘষা কাঁচ, ইত্যাদি পদার্থ ঈষদচ্ছ।

অস্বচ্ছ পদার্থের মধ্য দিয়া কোন আলোক যাইতে পারে না। এইরূপ পদার্থের মধ্য দিয়া কোন বস্তুকে দেখা যায় না। কাঠ, পাথর, মৃত্তিকা, ইত্যাদি অস্বচ্ছ।

দ্রষ্টব্য : বস্তুর স্বচ্ছতা ও অস্বচ্ছতা কোন কোন ক্ষেত্রে উহার বেধের উপর নির্ভর করে। পুরু রূপার পাত অস্বচ্ছ, কিন্তু পাত্‌লা রূপার পাতের মধ্য দিয়া কিছু আলো যাইতে পারে। জল স্বচ্ছ পদার্থ কিন্তু গভীর জলে কোন আলো গিয়া পৌঁছায় না।

কোন বস্তুর দৃশ্যমানতা (visibility).—বস্তুর কোন বিন্দু হইতে বিকীর্ণ কিছু আলো আমাদের চোখে আসিয়া পৌঁছিলে আমরা ঐ বিন্দুটিকে দেখিতে পাই। স্বয়ংপ্রভ বস্তুর যে-কোন বিন্দু হইতে সকল দিকে আলোক বিকীর্ণ হইতে থাকে। ইহার কিছু আলো চোখে পৌঁছিলেই বিন্দুটি দৃশ্যমান হইবে। নিষ্প্রভ বস্তু কোন স্বয়ংপ্রভ বস্তু হইতে আলো না পাইলে দৃশ্যমান হইতে পারে না। নিষ্প্রভ বস্তু স্বয়ংপ্রভ বস্তু হইতে প্রাপ্ত আলোকের কিয়দংশ বিক্ষিপ্ত করে। এই বিক্ষিপ্ত (scattered) আলোকের কিছুটা চক্ষে পৌঁছিলে আমরা নিষ্প্রভ বস্তুটিকে দেখিতে পাই। প্রদীপের আলো, বিজলী বাতির আলো অথবা সূর্যের আলো পুস্তকের এই পাতার উপরে পতিত হইয়াছে। ইহারই কিছুটা বিক্ষিপ্ত হইয়া তোমার চোখে গিয়াছে বলিয়া তুমি এই লেখাগুলি পড়িতে পারিতেছ। সূর্যের আলো চন্দ্রে পড়ে। চন্দ্র এই সৌর আলোকের কিছু অংশ বিক্ষিপ্ত করে বলিয়া উহার সাহায্যে আমরা চন্দ্রকে দেখিতে পাই।

আলোকরশ্মি—সর্বত্র সমধর্মী স্বচ্ছ পদার্থের মধ্য দিয়া আলোক সরলরেখাপথে ধাবিত হয়। এই তত্ত্ব জ্যামিতিক আলোকবিজ্ঞানের অন্যতম প্রধান ভিত্তি। একটি **সরলরেখা ধরিয়া যে আলোক ধাবিত হয় উহাকে একটি আলোকরশ্মি বলা হয় অর্থাৎ, একটি আলোকরশ্মি হইল আলোকের একটি সরলরেখা।**

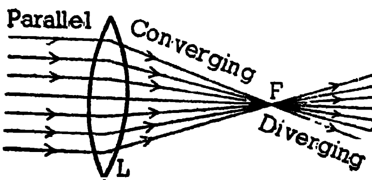
একটি তীরচিহ্নিত সরলরেখার সাহায্যে একটি আলোকরশ্মিকে সূচিত করা যায়। তীরচিহ্নের দিক হইল আলোকের গতির দিক। আলোকরশ্মির কোন বাস্তব অস্তিত্ব নাই। তবু জ্যামিতিক আলোকবিজ্ঞানে এই ধারণাকে ভিত্তি করিয়াই নানা বিষয়ের পর্যালোচনা করা হয়।

একটি আলোক-পেন্‌সিল (a pencil of light) বা **একটি আলোক-রশ্মিগুচ্ছ** (a beam of light)—সন্নিকটবর্তী অনেকগুলি আলোকরশ্মিকে একত্রে ধরিলে ঐ গুচ্ছকে আলোকরশ্মিগুচ্ছ বলা হয়। একটি আলোকরশ্মিগুচ্ছে রশ্মিসংখ্যা কম থাকিলে অর্থাৎ একটি সংকীর্ণ আলোকরশ্মিগুচ্ছকে আলোক-পেনসিল বলা হয়। আলোকরশ্মি একক, আর কতকগুলি রশ্মি একত্রে হয় রশ্মি-পেন্‌সিল বা রশ্মিগুচ্ছ।

কোন আলোকরশ্মিগুচ্ছ (১) **সমান্তরাল** (parallel), (২) **মিলনমুখী** বা **অভিসারী** (convergent), এবং (৩) **বিভেদমুখী** বা **অপসারী** (divergent), এই তিন রকমের হইতে পারে। আলোকরশ্মিগুচ্ছের বিভিন্ন রশ্মিগুলি পরস্পরের সমান্তরাল হইলে গুচ্ছটিকে সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ বলা হয়। সূর্য ও অন্যান্য জ্যোতিষ্ক পৃথিবী হইতে বহুদূরে অবস্থিত। এইজন্য ঐ সকল জ্যোতিষ্ক হইতে আগত আলোক-রশ্মিগুলিকে সর্বদাই পরস্পরের সমান্তরাল বলিয়া বিবেচনা করা হয়। এইগুলি হইল প্রাকৃতিক বা স্বাভাবিক সমান্তরাল আলোকরশ্মি। দর্পণ ও লেন্‌সের সাহায্যে কৃত্রিমভাবে সমান্তরাল আলোকরশ্মিগুচ্ছ সৃষ্টি করা সম্ভব।

যদি কোন গুচ্ছের রশ্মিগুলি আলোর গতির দিকে মিলিত হয় বা মিলিত হইতে চায় তাহা হইলে উক্ত রশ্মিগুচ্ছকে মিলনমুখী বা অভিসারী আলোকগুচ্ছ বলা হয়। এইরূপ মিলনমুখী বা অভিসারী গুচ্ছে স্বতন্ত্র রশ্মিগুলির মধ্যের ব্যবধান ক্রমে কমিয়া আসিতে থাকে।

যদি কোন আলোকগুচ্ছের রশ্মিগুলি এমন হয় যে, উহারা গতির দিকে ক্রমেই পরস্পর হইতে দূরে চলিয়া যাইতে থাকে, তাহা হইলে ঐ রশ্মিগুচ্ছকে বিভেদমুখী বা অপসারী বলা হয়। বিভেদমুখী বা অপসারী গুচ্ছে রশ্মিগুলির মধ্যের ব্যবধান ক্রমেই বাড়িতে থাকে।



চিত্র ১

চিত্র ১এর বামপ্রান্তে একটি সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ দেখান হইয়াছে। একখানি উত্তল লেন্‌সের মধ্য দিয়া প্রতিসরণের ফলে

ঐ গুচ্ছ মিলনমুখী বা অভিসারী হইয়াছে এবং রশ্মিগুলি লেন্সের ফোকাস্ Fএ মিলিত হইয়াছে। F অতিক্রম করিয়া রশ্মিগুচ্ছটি বিভেদমুখী বা অপসারী হইয়া অগ্রসর হইতেছে।

৫। **আলোর প্রকৃতি** :—উনবিংশ শতাব্দীর প্রারম্ভ পর্যন্ত করপাসকুলার মতবাদ বা কণাবাদ আলোকের তত্ত্বহিসাবে প্রতিষ্ঠিত ছিল। এই মত অনুযায়ী আলোক হইল এক প্রকারের কতকগুলি অতি হাল্কা পদার্থকণা (corpusles)। এইরূপ কণা চোখে আসিয়া পড়িলে আলোর অনুভূতি জন্মায়। উনবিংশ শতাব্দীর প্রথমভাগে ইয়ং (Young) ও ফ্রেনেল (Fresnel) আলোকের তরঙ্গবাদ প্রবর্তন করেন। ম্যাক্সওয়েল, কেলভিন্, হেগেনস (Huygens) ইত্যাদি মনীষিগণ এই মতবাদের সবিশেষ বিকাশ সাধন করেন। এই মতবাদ অনুযায়ী আলোক ইথর বলিয়া কথিত এক সর্বব্যাপী গুহ্য মাধ্যমের মধ্য দিয়া সঞ্চারিত কতকগুলি তরঙ্গ। জলের উপর ছোট ছোট ঢেউ উঠিতে দেখিয়া থাকিবে। আলোড়নকেন্দ্র হইতে ঐ সকল ঢেউ জলপৃষ্ঠের উপর দিয়া চতুর্দিকে ছড়াইয়া পড়ে। এক্ষেত্রে জলকণাগুলির স্পন্দন তরঙ্গের গতির দিকের লম্ব দিকে হইয়া থাকে। ইহাকে আড়-তরঙ্গ (transverse wave) বলা হয়। জলপৃষ্ঠের ঢেউয়ের মত আলোক তরঙ্গও একপ্রকারের আড়-তরঙ্গ। কিন্তু আলোকতরঙ্গ কোন পদার্থমাধ্যমের তরঙ্গ নয়। ইহা ইথর নামে বর্ণিত এক অদৃশ্য মাধ্যমের তরঙ্গ। যাহাকে আমরা মহাশূন্য বলি তাহাতেও এই মাধ্যম বর্তমান। জলপৃষ্ঠে ঢেউয়ের সহিত ইহার একটি বড় পার্থক্য আছে। ক্ষুদ্র জলতরঙ্গেরও তরঙ্গদৈর্ঘ্য কয়েক সেন্টিমিটার হইবে, কিন্তু আলোকতরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের গড় 6 সেন্টিমিটারের এক লক্ষ ভাগের এক ভাগ।

আলোক ঋজুপথে চলে এই ধারণা আমাদের ছোটবেলা হইতেই জন্মে। সকালবেলা জানালা বা কোন রন্ধ্রপথ দিয়া সূর্যালোক গৃহে প্রবেশ করে এবং বায়ুতে ভাসমান ধূলি ময়লার কণাগুলিকে দৃশ্যমান করিয়া আপন পথ সুস্পষ্টভাবে দেখায়। এই পথ সর্বদাই ঋজু বলিয়া দেখা যায়। মোটর গাড়ীর হেড্ লাইটের আলো কুয়াশার মধ্য দিয়া গেলে দেখা যায় যে উহা এক সরলরেখাপথে ধাবিত হইতেছে। আলোক তরঙ্গ হইলে ইহা কেমন করিয়া সরলরেখাপথে ধাবিত হয় তাহা ভাবিলে বিস্ময়বোধ হইতে পারে। তরঙ্গ কোন বাধা ডিঙাইয়া অপরদিকে পৌঁছিতে পারে, সরলরেখাপথে ধাবমান কণার এরূপ পারিবার কথা নয়। সূক্ষ্ম পরীক্ষা দ্বারা এরূপ দেখা গিয়াছে যে, আলোক সরলরেখাপথে বাধা থাকায় বেঁকিয়া অপর প্রান্তে পৌঁছায়। এই সমুদয় ঘটনার নাম দেওয়া হইয়াছে আলোকবিচ্ছুরণ (diffra-

tion)। আলোকতরঙ্গের দৈর্ঘ্য অত্যন্ত কম বলিয়া এই বক্রতার পরিমাণ অত্যন্ত কম। আলোকের গতি ঋজুরেখ বলিয়া ধরিয়া নিলে কতকগুলি ঘটনার সহজ ব্যাখ্যা দেওয়া যায় বটে। কিন্তু বিচ্ছুরণ (diffraction), মিশ্রণ (interference) এবং সমবর্তন বা দিকৃপ্রবণতা অর্জন (polarisation) ইত্যাদি ঘটনার ব্যাখ্যা দিতে হইলে অধিকতর সূক্ষ্ম বিচারের প্রয়োজন হয়। তখন আলোকের তরঙ্গধর্মের সাহায্য লওয়া অপরিহার্য হইয়া উঠে। আলোক যে শ্রেণীর আড়-তরঙ্গ তাহার সাধারণ নাম হইল তড়িৎ-চুম্বকীয় তরঙ্গ (electromagnetic waves)। এই তরঙ্গ যে দিকে অগ্রসর হয় তাহার লম্বতলে (transverse plane) এক দিক্ অভিমুখী এক চৌম্বকক্ষেত্র এবং ঐ একই তলে চৌম্বকক্ষেত্রের আড় দিকে একটি তড়িৎক্ষেত্র সদা বিদ্যমান থাকে। এক কথায় বলা চলে যে, আলোক তড়িৎচুম্বক-ধর্মবিশিষ্ট এক আড়-তরঙ্গ বিশেষ।

বিংশ শতাব্দীর প্রথম হইতে এক নূতন মতবাদ, যাহাকে কোয়ান্টাম্ মতবাদ (quantum theory) বলা হয়, বিজ্ঞানিগণ শক্তির বিকিরণ ব্যাখ্যার ব্যাপারে ক্রমেই অধিকতর সাফল্যের সঙ্গে ব্যবহার করিতেছেন। অণুর গঠন, বর্ণালীরহস্য, আলোক-সঞ্জাতবিদ্যুৎ (photo-electric effect), ইত্যাদি ব্যাপারে এই মতবাদ এক রহস্যের দ্বার উদ্ঘাটন করিয়া দিয়াছে। তরঙ্গবাদ ও কোয়ান্টম্‌বাদ উভয়ের অনুকূলেই যথেষ্ট প্রমাণ থাকাতে একটি রাখিয়া আর-একটিকে অগ্রাহ্য করা আজও সম্ভব হয় নাই।

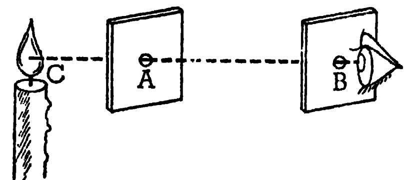
৬। **বিকীর্ণ তাপ ও বিকীর্ণ আলোক** :—তাপবিজ্ঞানের শেষ পরিচ্ছেদে বলা হইয়াছে যে, বিকীর্ণ তাপ ও বিকীর্ণ আলোকের মূল প্রকৃতিতে কোন প্রভেদ নাই। কোন বস্তুর উষ্ণতা বাড়িতে থাকিলে ইহার দ্বারা বিকীর্ণ শক্তির পরিমাণ বাড়িতে থাকে এবং সঙ্গে সঙ্গে বিকীর্ণ শক্তিতে ক্রমেই হ্রস্বতর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের তরঙ্গ দেখা দিতে থাকে। (বিকীর্ণ আলোক)÷(মোট বিকীর্ণ শক্তি), এই অনুপাতটিকে বিকিরকের প্রভাদক্ষতা (luminous efficiency) বলা হয়। উষ্ণতা বাড়িলে দর্শনের চেতনা-উৎপাদক ক্ষুদ্র তরঙ্গ বেশি উৎপন্ন হয় বলিয়া, উষ্ণতাবৃদ্ধিতে বিকিরকের প্রভাদক্ষতাও বাড়িতে থাকে। যে উষ্ণতায় বস্তুটি দ্বারা বিকীর্ণ হ্রস্বতম তরঙ্গের দৈর্ঘ্য হয় অবচ্ছেদহীন বর্ণালীর (continuous spectrum) বেগুনী আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের (0·0004 মি.মি.) সমান ঐ উষ্ণতাতে বস্তুটির প্রভাদক্ষতা সর্বোচ্চ হইবে। উষ্ণতা আরও বাড়াইলে মোট বিকীর্ণ শক্তির পরিমাণ বাড়িবে বটে কিন্তু বিকীর্ণ আলোকের পরিমাণ আর বাড়িবে না।

কোন বস্তু লাল-গন্‌গনে হইবার পূর্ব পর্যন্ত ইহার দ্বারা বিকীর্ণ শক্তির সবটুকুই থাকে তাপশক্তি। লাল-গন্‌গনে হইলে তাপশক্তির সহিত বস্তুটি হইতে লোহিত বিকিরণও নির্গত হইতে থাকে। ইহার সাহায্যেই বস্তুটিকে লাল দেখা যায়। উষ্ণতা আরও বাড়িলে ক্ষুদ্রতর আলোকতরঙ্গগুলি বিকীর্ণ হইতে থাকে এবং ঐ আলোকের সাহায্যে আমরা বস্তুটিকে রং বদলাইতে দেখি। উষ্ণতা যথেষ্ট বাড়িলে 0·0008 মি.মি. হইতে 0·0004 মি.মি. পর্যন্ত সকল তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোকগুলিই বিকীর্ণ হইতে থাকে এবং ঐ সকল রংএর সমষ্টিগত ক্রিয়াতে দৃষ্ট বস্তুটিকে সাদা জ্বলজ্বলে দেখায়। কোন বস্তুর তাপমাত্রা যথেষ্ট উচ্চে না উঠিলে উহা সাদা আলোকের উৎস হইতে পারে না। কিন্তু মনে রাখিবে যে, কখনও কখনও রাসায়নিক শক্তির রূপান্তরের সাহায্যে শীতল অবস্থাতেই কোন কোন পদার্থ আলোক বিকিরণ করিতে পারে। অনুপ্রভ (phosphorescent) পদার্থ (যথা পচনশীল কাঠ, কয়েক প্রকার ফাঙ্গাস্, ইত্যাদি) এই প্রক্রিয়ায় আলোক উৎপন্ন করে। জোনাকি শীতল অবস্থায় আলো বিকিরণে সক্ষম।

৭। আলোকের ঋজুরেখ গতিঃ—সর্বত্র সমধর্মী স্বচ্ছ মাধ্যমের মধ্য দিয়া আলোক ঋজুপথে ধাবিত হয়। আলোকের সম্মুখে কোন অস্বচ্ছ প্রতিবন্ধক বা বাধা থাকিলে এবং বাধার পিছনে কোন পর্দা রাখা হইলে ঐ পর্দার উপরে ছায়া পড়িবে। সূক্ষ্ম-ছিদ্রমুখী ক্যামেরার (pin-hole camera) সম্মুখে কোন বস্তু রাখিলে ক্যামেরার পর্দায় (screen) উহার এক উল্টানো প্রতিকৃতি দৃষ্ট হয়। আলোক ঋজুপথে চলে বলিয়াই এই ঘটনা ঘটে।

আলোকের ঋজুরেখ গতি প্রমাণ করিবার কয়েকটি পরীক্ষা।—

(১) মোমবাতি ও কার্ডবোর্ডের পরীক্ষা।—দুইখানি সমতল কার্ডবোর্ড লও। ইহাদের মধ্যস্থলে একটি করিয়া সূক্ষ্ম ছিদ্র (পিনের সাহায্যে) কর। মনে কর A ও B এই দুইটি সূক্ষ্ম ছিদ্র (চিত্র ২)। এখন টেবিলের উপর একটি প্রজ্বলিত মোমবাতি রাখ এবং ইহার এক দিকে পরপর কার্ডবোর্ড-দুইখানিকে খাড়া করিয়া ধর। বাতির শিখার কেন্দ্র ও ছিদ্রদুইটি যেন একই অনুভূমিক সরলরেখা বরাবর সমান উচ্চতায় থাকে। দূরের কার্ডবোর্ডের

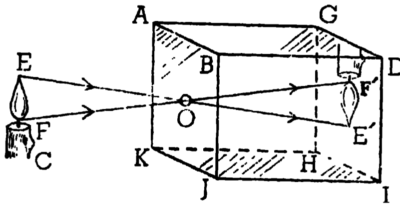


চিত্র ২

ছিদ্রের পিছনে চোখ রাখিলে শিখাটি পরিষ্কারভাবে দেখিতে পাইবে। পর্দাদুইটির যে কোনটি সামান্য একটু বামে বা ডাইনে, উপরে বা নীচে সরাইলে শিখাটি আর

দেখা যাইবে না। এই পরীক্ষার প্রথম অংশ হইতে প্রমাণিত হয় যে, আলোক ঋজুপথে চলে। দ্বিতীয় অংশও বস্তুতঃ একই বিষয় প্রমাণ করে। কারণ, শিখা ও ছিদ্রগুলি এক সরলরেখায় না থাকায় এই ক্ষেত্রে আলোক চোখে পৌঁছিতে পারে না।

(২) সূক্ষ্মছিদ্রমুখী ক্যামেরার (pin-hole camera) **পরীক্ষা।**—AI এইরূপ একটি ক্যামেরা (চিত্র ৩)। ইহার সম্মুখের দেওয়াল $ABJK$র মধ্যে একটি সূক্ষ্ম ছিদ্র (O) আছে। পশ্চাতের দেওয়াল $GDIH$ একখানি ঘষা কাঁচ দ্বারা নির্মিত প্রতিকৃতি ধরার পর্দাবিশেষ। আভ্যন্তরীণ প্রতিফলন কমাইয়া প্রতিকৃতিটিকে সুস্পষ্ট করিবার জন্য ক্যামেরার দেওয়ালের ভিতরের পৃষ্ঠগুলিতে (ঘষা কাঁচের পর্দাটি ছাড়া) কালো রং লাগাইয়া দেওয়া হয়।



চিত্র ৩

মনে কর, একটি মোমবাতির (C) শিখা (EF) ও ক্যামেরাটির সাম্‌নে রাখা হইল। এখন কাঁচের পর্দার পিছনে চোখ রাখিয়া শিখা (EF) এবং ক্যামেরার মধ্যের দূরত্ব পরিবর্তন করিয়া পর্দার উপরে শিখার ইপ্সিত আকারের একটি সুস্পষ্ট প্রতিকৃতি গঠন কর। দেখিবে যে প্রতিকৃতিটি সর্বতোভাবে EF শিখার সদৃশ হইবে কিন্তু উল্টানো থাকিবে।

ব্যাখ্যা।—EF হইতে চতুর্দিকে আলোক বিকীর্ণ হয়। মনে কর যে, আলোক ঋজুপথে চলে এবং ছিদ্রমুখ O অতি সূক্ষ্ম। EF হইতে একটি সংকীর্ণ আলোক-রশ্মিগুচ্ছ Oর মধ্য দিয়া গিয়া GI পর্দার উপর পতিত হয় এবং প্রতিকৃতি গঠন করে। মনে কর যে, EO রশ্মি পর্দাকে E' বিন্দুতে ছেদ করে এবং FO রশ্মি পর্দাকে F' বিন্দুতে ছেদ করে। তাহা হইলে $E'F'$ হইবে EFএর প্রতিকৃতি। E বিন্দুর প্রতিবিন্দু হইল E' এবং F বিন্দুর প্রতিবিন্দু হইল F'। উৎস EFএর মধ্যবর্তী কোন বিন্দুর প্রতিবিন্দু $F'E'$এর মধ্যবর্তী কোন বিন্দুতে গঠিত হইবে। এক একটি রশ্মি শিখাটির দুইটি প্রান্তিক বিন্দু (E ও F) হইতে যাত্রা করিয়া O ছিদ্রতে উপনীত হইবার পর আপন আপন দিকে সোজা পথে চলিয়া পর্দার উপর পড়ে। ফলে, পর্দার উপর একটি উল্টানো প্রতিকৃতি গঠিত হয়। আলোক সরল-রেখাপথে চলে বলিয়া প্রতিকৃতির প্রত্যেক বিন্দু মূল শিখার ঐ বিন্দুর সর্বরকমে অনুরূপ হইবে।

চিত্র ৩এর জ্যামিতি হইতে প্রতিকৃতির আকার ও মূল উৎসের আকারের তুলনা করা যায়। EOF এবং $E'OF'$ ত্রিভুজ দুইটি সদৃশ বলিয়া,

$$\frac{E'F'}{EF} = \frac{\text{প্রতিকৃতির আকার}}{\text{মূল উৎসের আকার}} = \frac{\text{ছিদ্র হইতে প্রতিকৃতির দূরত্ব}}{\text{ছিদ্র হইতে মূল উৎসের দূরত্ব}}$$

$$= \frac{\text{ক্যামেরার দৈর্ঘ্য}}{O\text{-বিন্দু হইতে শিখার দূরত্ব}}।$$

ছিদ্রটি বড় হইবার ফল।—ছিদ্র বড় হইলে ক্যামেরা-বাক্সে প্রবিষ্ট আলোকের পরিমাণ বাড়িয়া যাইবে এবং প্রতিকৃতির ঔজ্জ্বল্য বাড়িবে, কিন্তু প্রতিকৃতিটি আলোক উৎসের সদৃশ হইবে না। কারণ, শিখার প্রতি বিন্দু হইতে এক-একটি বিভেদমুখী (বা অপসারী) আলোকরশ্মিগুচ্ছ ছিদ্রের মধ্য দিয়া বাক্সে প্রবেশ করিবে। ছিদ্র বড় হওয়ায় শিখার ঐরূপ প্রতিটি বিন্দু পর্দার উপরে একটি প্রতিবিন্দুর পরিবর্তে ছিদ্রটির আকৃতিসদৃশ বর্ধিত আকারের এক আলোকবিম্ব সৃষ্টি করিবে। আলোকবিম্বগুলি কাছাকাছি পড়িবে বলিয়া একটির উপরে অংশতঃ আর একটি পড়িবে, ফলে কোন সুস্পষ্ট প্রতিকৃতি গঠিত না হইয়া পর্দার উপর এক অস্পষ্ট আলোকসম্পাত ঘটিবে।

দেওয়ালে গোল বা ডিম্বাকৃতি আলোর চিহ্ন।—কোন কোন সময়ে ঘরের দেওয়ালে সকালে বা বিকালে গোল বা ডিম্বাকৃতি আলোর চিহ্ন দেখিতে পাওয়া যায়। কোন ছিদ্রপথে সূর্যালোক প্রবেশ করার ফলে দেওয়ালের উপর ঐরূপ আলোর চিহ্ন পড়ে। এই ক্ষেত্রেও একটি সূক্ষ্ম-ছিদ্রমুখী ক্যামেরায় যে ক্রিয়া ঘটে তাহাই হয়। গাছের পাতার ছিদ্রের মধ্য দিয়া সূর্যালোক আসিলেও অনুরূপ প্রক্রিয়ায় আলোকবিম্ব গঠিত হইয়া থাকে।

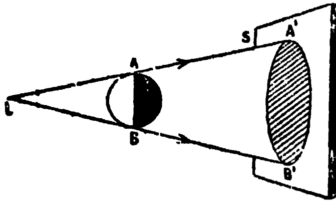
ছিদ্রটি ক্ষুদ্র হইলে আলোকবিম্বের আকার ছিদ্রের আকারের উপর নির্ভর করে না। ছিদ্রটি বড় হওয়ার অর্থ হইল অনেকগুলি ছিদ্রের সমাবেশ। প্রত্যেক ছিদ্রের জন্য সূর্যের এক-একটি প্রতিকৃতি গঠিত হয় এবং ঐ প্রতিকৃতিগুলি আংশিকভাবে একে অন্যের উপর পড়ে। ফলে খানিক জায়গা জুড়িয়া এক আলোকসম্পাত ঘটে, প্রকৃত প্রতিকৃতিটি স্পষ্ট হয় না। ছিদ্রটি গোল বা ডিম্বাকৃতি হইলে তদনুযায়ী আলোর চিহ্নটিও হয় গোল বা ডিম্বাকৃতি।

৮। ছায়া ঃ—একটি আলোক-উৎসের সম্মুখে কোন অস্বচ্ছ বস্তু রাখা হইলে ঐ বস্তুর দিকে অগ্রসর রশ্মিগুলি বস্তুটির পরপারে পৌছিতে পারে না। ফলে ঐ বস্তুর

পিছনে অন্ধকার থাকে। আলোক সরলপথে চলে, কোন বাধার ধার ধরিয়া বেঁকিয়া পিছনে গিয়া পৌছিতে পারে না। এইজন্যই আলো কোন অস্বচ্ছ বস্তু অতিক্রম করিতে পারে না। উহার পশ্চাৎবর্তী স্থান হয় অন্ধকার। এইরূপ আলোক-প্রতিবন্ধকের উপর একদিক হইতে আলো ফেলা হইলে এবং পিছনে একটি সাদা পর্দা লম্বভাবে রাখা হইলে ঐ পর্দায় প্রতিবন্ধকটির জ্যামিতিক আকৃতির এক অন্ধকার প্রতিমূর্তি গঠিত হয়। এই অন্ধকার প্রতিমূর্তিটিকে আলোক-প্রতিবন্ধকটির ছায়া (shadow) বলা হয়। আলোক সরলপথে চলে বলিয়াই ছায়া গঠিত হয়।

বিভিন্ন ধরণের ছায়াসম্বন্ধে কয়েকটি পরীক্ষা।—

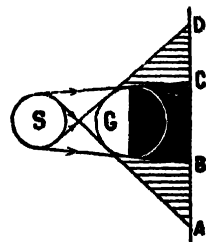
(১) **বিন্দুবৎ-উৎস** (Point source) **এবং বৃহৎ প্রতিবন্ধক** (Extended obstacle).—মনে কর, L (চিত্র ৪) হইল বিন্দুসম একটি অতি ক্ষুদ্র আলোক-উৎস। ইহার সম্মুখে একটি গোলাকার আলোক-প্রতিবন্ধক (AB) রাখা হইয়াছে। প্রতিবন্ধক ABর অপর দিকে একখানি সাদা পর্দা (S) আলোর গতির দিকের সহিত লম্বভাবে রাখ। দেখিবে যে, পর্দার উপর গোলাকার একটি অন্ধকার ছায়া পড়িয়াছে। পর্দা ও প্রতিবন্ধকটির মধ্যের দূরত্ব বাড়াইলে ছায়ার আকার বাড়িবে, দূরত্ব কমাইলে ছায়ার আকার কমিবে।



চিত্র ৪

আলোক সরলপথে চলে এই তত্ত্বের সাহায্যে এইরূপ ছায়াগঠনের সহজ ব্যাখ্যা দেওয়া যায়। আলোক-উৎস (L) হইতে গোলাকার প্রতিবন্ধকটি ঘেঁসিয়া দুইটি স্পর্শক রশ্মি LA ও LB টানো: ইহারা, মনে কর, পর্দাটিকে যথাক্রমে A' ও B' বিন্দুতে ছেদ করে। অতএব আলোর ঋজুরেখ গতির নিয়ম অনুযায়ী L হইতে বিকীর্ণ আলোকের যেটুকু ALB কোণের শংকুর মধ্য থাকিবে উহা সম্পূর্ণই প্রতিবন্ধকটি কর্তৃক রুদ্ধ হইবে। শংকুটি পর্দা পর্যন্ত বর্ধিত করিলে উহার ছেদ বৃত্তাকার হইবে। অর্থাৎ, পর্দার উপর ঐ শংকুর প্রক্ষেপ (projection) হইবে একটি বৃত্ত। এই আলোকহীন বৃত্তটি হইবে প্রতিবন্ধকটির ছায়া। পর্দা ও প্রতিবন্ধকের মধ্যের দূরত্ব বাড়িলে বা কমিলে ছায়ার আকার যথাক্রমে বাড়িবে বা কমিবে। অর্থাৎ, ছায়া-গঠনকারী শংকুটি বিভেদমুখী বা অপসারী। যত দূরে যাওয়া যাইবে ছায়ার আকার তত বড় হইবে।

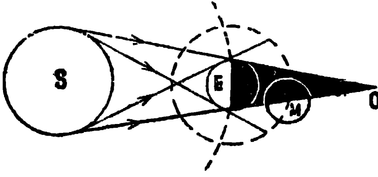
(২) **বৃহৎ আলোক-উৎস এবং অপেক্ষাকৃত বৃহৎ প্রতিবন্ধক।**—ঘটনাটি সহজভাবে বুঝাইবার জন্য আলোক-উৎস ও প্রতিবন্ধক উভয়কেই গোলাকার মনে করা যাক্। S হইল এই আলোক-উৎস এবং G প্রতিবন্ধক বা বাধা (চিত্র ৫)। বাধার পিছনে একখানি পর্দা খাড়া করিয়া রাখা আছে। এই ক্ষেত্রে ছায়াটি কিছুটা জটিল হইবে। ইহার মধ্যস্থলে থাকিবে সম্পূর্ণ আলোকহীন একটি গোলাকার ছায়া। এই গোলাকৃতি অন্ধকার ছায়ার চতুর্দিকে থাকিবে বলয় আকারের এক নাতি অন্ধকার ছায়া। পর্দাটি বাধার নিকটে আনিলে ঐ উভয় ছায়ারই ক্ষেত্রফল কমিয়া যাইবে ; পর্দাটি বাধা হইতে দূরে নিলে উভয় ছায়ারই ক্ষেত্রফল বাড়িয়া যাইবে। কারণ, ছায়াটির উভয় অংশই অপসারী বা বিভেদমুখী (divergent)।



চিত্র ৫

ব্যাখ্যা।—আলোকের ঋজুরেখ গতির সাহায্যেই এই প্রকারের ছায়াসৃষ্টির সহজ ব্যাখ্যা দেওয়া যায়। বৃহৎ আলোক-উৎসটিকে বহু আলোকবিন্দুর এক সমবায় বলিয়া বিবেচনা করা যাইতে পারে। উৎস Sএর খাড়া ব্যাসের দুই প্রান্তীয় দুইটি বিন্দু-উৎসের কথা ভাবা যাক্। ইহাদের প্রত্যেকটি হইতে বিকীর্ণ আলোকের একটি শঙ্কু আকৃতির রশ্মিগুচ্ছ প্রতিবন্ধক Gর দ্বারা রুদ্ধ হইবে। শঙ্কুমুখে অবস্থিত আলোকবিন্দুটি হইতে এই শঙ্কু-আকৃতির রশ্মিগুচ্ছ দুইটির যে-কোনটি বরাবর Gর পশ্চাৎদেশে কোন আলো পৌঁছিবে না। ঐ খাড়া ব্যাসের দুই প্রান্তের প্রত্যেক বিন্দু হইতে গোলাকৃতি প্রতিবন্ধক Gর বিপরীত পিঠে দুইটি করিয়া স্পর্শক অংকিত করিয়া স্পর্শক-চারিটিকে পর্দা পর্যন্ত বাড়াইয়া দাও। চিত্র হইতে বোঝা যায় যে, পর্দার উপর C ও A দ্বারা সীমিত অঞ্চলের উপর ঐ শঙ্কুর মুখে যে আলোকবিন্দুর কথা ভাবা হইতেছে তাহা হইতে কোন আলোক আসিয়া পৌঁছায় না। আবার, B ও D দ্বারা সীমিত অঞ্চলে ব্যাসটির নিম্ন প্রান্তস্থ উৎসবিন্দু হইতে কোন আলোক আসিয়া পৌঁছায় না। অতএব ঐ দুই অঞ্চলের সাধারণ অংশ CBতে (CB ব্যাসবিশিষ্ট এক বৃত্তীয় ক্ষেত্র) খাড়া ব্যাসটির প্রান্তীয় দুইটি বিন্দুর কোনটি হইতেই অন্য আলোক আসিয়া পৌঁছায় না। অংকনের সাহায্য লইলে দেখিতে পাইবে যে, এই বৃত্তীয় অঞ্চলে (CBতে) ঐ প্রান্তীয় বিন্দুদ্বয়ের মধ্যে অবস্থিত অন্য কোন বিন্দু হইতেও কোন আলো আসিয়া পৌঁছায় না। অতএব

একটি অস্বচ্ছ প্রতিবন্ধক এবং চন্দ্র (M) একটি পর্দার কাজ করে। পৃথিবীর যে প্রচ্ছায়া গঠিত হয় তাহা অভিসারী এবং ইহার চতুর্দিকে থাকে অপসারী এক উপচ্ছায়া। S, E, এবং Mএর আকার ও উহাদের পারস্পরিক দূরত্ব বা অবস্থিতি এমন যে, প্রচ্ছায়াশঙ্কুর

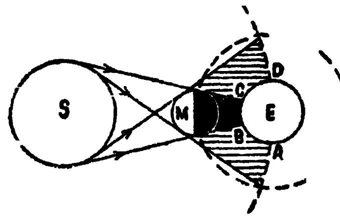


চিত্র ৭

শীর্ষবিন্দু O সর্বদাই চন্দ্রের কক্ষপথের (বিন্দু বিন্দু চিহ্নের বৃত্ত দ্বারা নির্দেশিত) অনেক দূরে গিয়া পড়ে। পৃথিবীর চারিদিকে ঘুরিতে ঘুরিতে চন্দ্র যখন পৃথিবীর প্রচ্ছায়াশঙ্কুর মধ্যে সম্পূর্ণভাবে ঢুকিয়া পড়ে, পৃথিবী হইতে রাত্রিকালে (পূর্ণিমা হওয়া সত্ত্বেও) চন্দ্র তখন একেবারেই দেখা যায় না। এই ঘটনাকে চন্দ্রের পূর্ণ গ্রহণ বা পূর্ণগ্রাস বলা হয়। চন্দ্র যখন আংশিকভাবে উপচ্ছায়ায় অবস্থিত থাকে তখন (চিত্র ৭ দেখ) ঐ অবস্থিতিতে চন্দ্রের আংশিক গ্রহণ ঘটে। প্রচ্ছায়ায় প্রবেশ করিবার পূর্বে চন্দ্রকে নাতি-অন্ধকার উপচ্ছায়ার মধ্য দিয়া যাইতে হয়। এইজন্য গ্রহণ সুরু হইবার কিছু সময় আগে হইতেই চন্দ্রের উজ্জ্বলতা কমিয়া যায়। গ্রাসমুক্তির পরেও একই কারণে অনুরূপভাবে চন্দ্রের ঔজ্জ্বল্য কম থাকে।

প্রত্যেক পূর্ণিমায় চন্দ্রগ্রহণ হয় না। ইহার কারণ এই যে, চন্দ্রের কক্ষপথ পৃথিবীর কক্ষপথের সহিত 5° হেলানো বলিয়া চন্দ্র সব পূর্ণিমায় পৃথিবীর প্রচ্ছায়ায় প্রবেশ করে না।

সূর্যগ্রহণ (Solar eclipse).—অমাবস্যায় সূর্যগ্রহণ ঘটিয়া থাকে। তখন চন্দ্র থাকে সূর্য ও পৃথিবীর মধ্যে। চন্দ্র একটি অস্বচ্ছ প্রতিবন্ধক। তাই ইহা দ্বারা সূর্য-হইতে পৃথিবীর অভিমুখী আলোক বাধা প্রাপ্ত হয়। চন্দ্র সূর্যের তুলনায় অতি ক্ষুদ্র বলিয়া এবং চন্দ্র হইতে সূর্যের দূরত্ব অত্যন্ত অধিক বলিয়া চন্দ্রের প্রচ্ছায়াশঙ্কু অতি-অভিসারী (too much convergent) হইয়া থাকে। চন্দ্র ও পৃথিবীর দূরত্ব এরূপ যে, পৃথিবী-

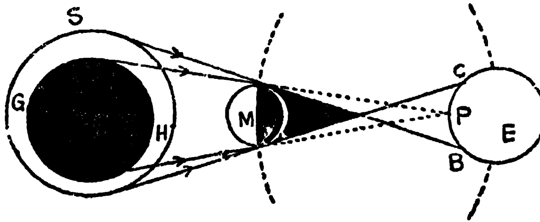


চিত্র ৮

পৃষ্ঠ চন্দ্রের প্রচ্ছায়াশঙ্কুর শীর্ষবিন্দুর কাছেই থাকে। পৃথিবীপৃষ্ঠ ঐ শীর্ষবিন্দু হইতে সামান্য ভিতরে (চন্দ্রের দিকে) থাকিলে (চিত্র ৮) পৃথিবীপৃষ্ঠের C ও Bর মধ্যবর্তী এলাকা

প্রচ্ছায়াশঙ্কুর মধ্যে পড়িয়া যায় এবং ঐ অঞ্চলের যে-কোন স্থান হইতে তখন সূর্যের পূর্ণগ্রাস দেখা যায়। CD বা BA অঞ্চল উপচ্ছায়ার মধ্যে পড়ে। তাই ঐ অঞ্চলের যে-কোন স্থান হইতে তখন সূর্যের কিছুটা অংশ দেখা যাইবে। এই ঘটনার নাম আংশিক সূর্যগ্রহণ। CD বা BA অঞ্চলের কোন স্থান হইতে নিরীক্ষণ করা হইলে ঐ স্থানের অবস্থিতির উপর সূর্যের যে অংশ গ্রস্ত (eclipsed) হইবে উহার আকার নির্ভর করিবে। এককথায় বলিতে গেলে আংশিক গ্রাসের নমুনা পর্যবেক্ষণ স্থানের উপর নির্ভর করিবে।

প্রত্যেক অমাবস্যায় সূর্যগ্রহণ হয় না। ইহার কারণ এই যে, প্রত্যেক অমাবস্যায় চন্দ্রের প্রচ্ছায়াশঙ্কু বা উপচ্ছায়াশঙ্কু পৃথিবীকে স্পর্শ করিতে পারে না। এইরূপ হওয়ার কারণ এই : (১) চন্দ্রের কক্ষপথ পৃথিবীর কক্ষপথের সহিত হেলানো; (২) সূর্য ও চন্দ্র হইতে পৃথিবীর দূরত্ব স্থির নহে, এগুলি বদলাইয়া থাকে এবং প্রায়ই পৃথিবী চন্দ্রের প্রচ্ছায়াশঙ্কুর শীর্ষবিন্দু হইতে বেশ কিছুটা দূরে চলিয়া যায়, অর্থাৎ তখন প্রচ্ছায়াশঙ্কু পৃথিবীপৃষ্ঠের নাগাল পায় না।



চিত্র ৯

বলয়-গ্রহণ (Annular eclipse).—এইরূপ গ্রহণ সচরাচর ঘটে না, কখনও কখনও দেখা যায়। চিত্র ৯ দেখ। মনে কর যে, ঘুরিতে ঘুরিতে চন্দ্র ও পৃথিবী কোন অমাবস্যায় পরস্পর এমন অবস্থানে আসিয়াছে যে, পৃথিবী চন্দ্রের প্রচ্ছায়াশঙ্কুর শীর্ষবিন্দুর সামান্য কিছুটা দূরে আছে। এই প্রচ্ছায়াশঙ্কুর জ্যামিতিক বিবর্ধনে যে আলোকশঙ্কু পাওয়া যাইবে, মনে কর, উহা যেন পৃথিবীপৃষ্ঠের CB অঞ্চল জুড়িয়া পতিত হইয়াছে। CB অঞ্চলের কোন স্থান (P) হইতে সূর্যের দিকে তাকাইলে সূর্যের কেন্দ্রস্থলের GH অংশ সম্পূর্ণ অন্ধকার দেখাইবে, কিন্তু সূর্যগোলকের বহির্ভাগে বলয়-আকারের একটি ঘের স্পষ্টতঃ পরিলক্ষিত হইবে। এইরূপ গ্রহণকে বলয়-গ্রহণ বলে।

অন্যান্য গ্রহসমূহের উপগ্রহের গ্রহণ।—চন্দ্র যেমন পৃথিবীর উপগ্রহ, অন্যান্য গ্রহেরও তেমনি নানা উপগ্রহ আছে। ঘুরিতে ঘুরিতে একটি উপগ্রহ উহার গ্রহের প্রচ্ছায়ার (সৌরালোকে গঠিত) মধ্যে ঢুকিলে ঐ উপগ্রহের গ্রাস হয়।

১০। আলোর গতিবেগ ঃ—শব্দের মত আলোরও গতিবেগ আছে, অর্থাৎ একস্থান হইতে অন্য স্থানে যাইতে শব্দের মত আলোকেরও সময় লাগে। তবে আলোর গতিবেগ এত অধিক যে আমাদের জ্ঞাত কোন সাধারণ পার্থিব গতিবেগের সহিত ইহার তুলনা চলে না। আলোকের তীব্র গতির জন্যই অনেক সময় মনে হয় যে, আলোকের গতিতে কোন সময় লাগে না। এক সেকেণ্ডে আলো পৃথিবীর বেষ্টনীর সাতগুণ পথ অতিক্রম করিতে পারে। আলোর গতিবেগ নির্ণয়ের জন্য আজ পর্যন্ত বহু পরীক্ষা-নিরীক্ষা হইয়া গিয়াছে। রোমার (১৬৭৬), ব্রাড্‌লে (১৭২৬), ফিজু (১৮৪৯), ফুকো (১৮৫১), এম্‌ কর্ণু, মাইকেলসন্‌ ও তাঁহার সহকর্মিগণ (১৮৯০—১৯৩০), ক্যারোলাস্‌ এবং মিটেল্‌স্টাভ (১৯২৫), এ্যাণ্ডারসন (১৯৩৭—'৪১), এসেন (১৯৫১), বার্গস্ট্র্যাণ্ড, বোল্‌, প্রভৃতি বিজ্ঞানিগণ নানা পরীক্ষাকার্য করিয়াছেন। সর্বাপেক্ষা সঠিক বলিয়া যে সমুদয় নির্ণীত ফল স্বীকৃতি লাভ করিয়াছে ঐগুলির কয়েকটি নীচে দেওয়া হইল :

শূন্যমাধ্যমে আলোকের গাতবেগ

এম্‌. কর্ণু—$(3{\cdot}004 \pm 0{\cdot}003) \times 10^{10}$ সে.মি. প্রতি সেকেণ্ডে ;

মাইকেলসন্‌ ও নিডকোম্ব্‌—$(2{\cdot}9986 \pm 0{\cdot}0003) \times 10^{10}$ সে.মি. প্রতি সেকেণ্ডে ;

এসেন—$(299{,}790 \pm 1)$ কিলোমিটার প্রতি সেকেণ্ডে।

আলোকের গতিবেগ মাধ্যমের প্রকৃতির উপর কিছুটা নির্ভর করে। শূন্যমাধ্যমে আলোর গতিবেগ সর্বোচ্চ। শূন্যমাধ্যমে বা বায়ুমাধ্যমে গতিবেগ মোটামুটি 3×10^{10} সে.মি. প্রতি সেকেণ্ডে, অথবা 186,000, মাইল প্রতি সেকেণ্ডে ধরা হয়। আলোর গতিবেগের অন্য কোন মান নির্দিষ্টভাবে দেওয়া না থাকিলে শেষোক্ত গতিবেগটি ধরিয়া লইয়া হিসাবপত্র করিবে।

মনে রাখিও যে—

(১) আলোর গতিবেগ প্রতি সেকেণ্ডে 186,000 মাইল ;

(২) আলো প্রতি সেকেণ্ডে 300,000 কিলোমিটার যায় ;

(৩) সূর্য হইতে পৃথিবীতে পৌঁছিতে আলোর 8 মিনিট সময় লাগে

(৪) আলো $\frac{1}{7}$ সেকেণ্ডে বিষুবরেখা ধরিয়া পৃথিবীপৃষ্ঠের যে বেষ্টনী আছে তাহার সমান পথ অতিক্রম করিতে পারে

১১। **আলোক-বর্ষ (light-year).**—ইহা জ্যোতির্বিদ্যায় দূরত্বের পরিমাপে একটি একক হিসাবে ব্যবহৃত হয়। এক নক্ষত্র হইতে অন্য নক্ষত্রের দূরত্ব এত অধিক যে দূরত্ব মাপার সাধারণ এককের সাহায্যে ইহা প্রকাশ করা বিরক্তিকর। এইজন্য ঐরূপ দূরত্ব আলোকবর্ষে প্রকাশ করা হয়। আলোক এক বছরে যে পথ যাইতে পারে উহাই এক আলোক-বর্ষ দূরত্ব। স্পষ্টতঃই তাহা হইলে,

1 আলোক-বর্ষ $= 186,000 \times 60 \times 60 \times 24 \times 365$ মাইল ;

$= 300,000 \times 60 \times 60 \times 24 \times 365$ কিলোমিটার।

Exercises

1. Describe a simple experiment to demonstrate that light travels in straight lines.

2. Explain with a diagram the working of a pin-hole camera.

3. Describe a pin-hole camera. Explain in this connection the effect of (*i*) enlarging the hole, (*ii*) doubling the distance from the hole to the screen ?

4. Circular or elliptical patches of light are sometimes observed in the shadows of leaves. Why ?

5. A solar eclipse can be watched if a beam of sunlight is allowed to enter a room through a very fine hole, but it becomes a failure when the hole is big. Explain.

6. How are shadows formed ? Is the shadow of an object produced by an extended luminous source everywhere uniform ? Explain.

7. Distinguish between umbra and penumbra. Show, by drawing, the formations of umbra and penumbra due to a spherical obstacle cast by a spherical luminous source, (*i*) when the source is smaller than the obstacle, (*ii*) when the source is larger than the obstacle, and (*iii*) when the source is equal to the obstacle.

8. A small opaque sphere is placed between a large luminous sphere and a white screen. Explain, with the help of diagrams, the changes in appearance presented by the shadow of the small sphere as the screen is brought up from a distance close to the opaque body.

9. Explain how total eclipses of the sun and the moon are formed.

10. Explain with the aid of diagrams how the partial and total eclipses of the moon occur.

11. Light travels in straight lines. Yet eclipses are not found to occur at every full moon and new moon. Give the reasons.

12. The diameter of the sun is 9×10^5 miles and that of the moon 2,100 miles, and the distance of the earth from the sun is 9×10^7 miles. Find the distance of the earth from the moon at the time of a solar eclipse when the eclipse is total only at a single point on the earth. Also, find the diameter of the area on the earth within which the eclipse will be total when the distance of the moon from the earth is 2,09,000 miles. The earth may be assumed flat for the purpose of your calculation. **উত্তর :** 2,10,000 মাইল ; 10 মাইল।

13. What is the velocity of light ? Do you know of any terrestrial velocity comparable to it ? Lightning will never strike you if you can only see its flash. Explain what you mean by this statement.

14. **The nearest star to the earth is Alpha Centauri visible only in the southern hemisphere. Its distance is 4·4 light-years. Express this in miles.** **উত্তর :** $2{\cdot}58 \times 10^{13}$.

দ্বিতীয় পরিচ্ছেদ

সমতল পৃষ্ঠ হইতে আলোকের প্রতিফলন

(Reflection of Light at Plane Surfaces)

১২। **সূচনা** ঃ—কোন মাধ্যমের ভিতর দিয়া চলিতে চলিতে আলোক একটি দ্বিতীয় মাধ্যমের পৃষ্ঠের উপর পতিত হইলে আলোর কিয়দংশ উহা হইতে প্রতিফলিত (reflected) হইয়া প্রথম মাধ্যমে ফিরিয়া যায়, কিছু অংশ দ্বিতীয় মাধ্যম দ্বারা শোষিত (absorbed) হয় এবং অবশিষ্টাংশ দ্বিতীয় মাধ্যমের ভিতর দিয়া সঞ্চালিত (transmitted) হইয়া অপর পারে চলিয়া যায়। অতএব আপতিত আলোক (incident light) = প্রতিফলিত আলোক (reflected light) + শোষিত আলোক (absorbed light) + বহির্গত আলোক (transmitted light)।

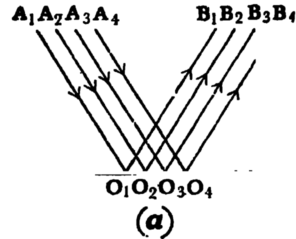
১৩। **প্রতিফলিত আলোক** ঃ—কোন পৃষ্ঠকর্তৃক প্রতিফলিত আলোকের সাহায্যে আমরা পৃষ্ঠটিকে দেখিতে পাই। প্রতিফলিত আলোকের পরিমাণ যত অধিক হয় পৃষ্ঠটি ততই উজ্জ্বল বোধ হয়। চক্‌চকে ধাতব পৃষ্ঠ বা পারদমণ্ডিত কাঁচের দর্পণ অধিক আলোক প্রতিফলিত করিতে পারে বলিয়া উহাদের অত উজ্জ্বল দেখায়।

বস্তুপৃষ্ঠ হইতে আলোর প্রতিফলন দুই প্রকারের হইতে পারে, যথা—নিয়মিত প্রতিফলন (regular reflection) এবং বিক্ষিপ্ত প্রতিফলন (scattered or diffused light)।

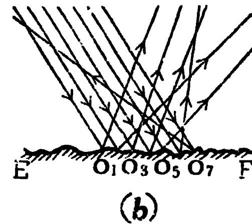
(ক) **নিয়মিত প্রতিফলন** (regular reflection).—একটি আলোকরশ্মিগুচ্ছ কোন মাধ্যমের মধ্য দিয়া যাইতে যাইতে চক্‌চকে মসৃণ পৃষ্ঠবিশিষ্ট কোন দ্বিতীয় মাধ্যমের উপর পতিত হইলে আপতিত আলোকের প্রায় সবটুকুই ঐ বস্তুপৃষ্ঠ হইতে প্রথম মাধ্যমে আবার ফিরিয়া আসে। এইরূপ কোন বস্তুপৃষ্ঠ হইতে আলোর প্রত্যাবর্তন কয়েকটি সুপ্রতিষ্ঠিত সূত্রানুযায়ী ঘটে। কোন বস্তুপৃষ্ঠ হইতে আলোর এইরূপ সূত্রানুগ প্রত্যাবর্তনকে আলোর নিয়মিত প্রতিফলন বলা হয়। চিত্র ১০, (*a*)তে নিয়মিত প্রতিফলনের পদ্ধতি দেখান হইয়াছে। A_1O_1, A_2O_2,…ইত্যাদি কয়েকটি পরস্পর সমান্তরাল আলোকরশ্মি একটি চক্‌চকে মসৃণ পৃষ্ঠ *EF*এর উপর পতিত হইবার পর যথাক্রমে

O_1B_1, O_2B_2,……ইত্যাদি সমান্তরাল পথে প্রতিফলিত হইয়াছে কি নিয়মে হইয়াছে তাহা অনুচ্ছেদ ১৪ ও ১৫তে বর্ণিত হইয়াছে।

(খ) **বিক্ষিপ্ত প্রতিফলন**.—পৃষ্ঠ মসৃণ না হইলে প্রতিফলিত আলোক কোন বিশেষ দিকে না গিয়া ইতস্ততঃ বিক্ষিপ্ত হয়। এইরূপ অনিয়মিত প্রতিফলনকে বিক্ষিপ্ত প্রতিফলন বলা হয়। চিত্র ১০, (b)তে বিক্ষিপ্ত প্রতিফলনের একটি নমুনা দেখান হইয়াছে। দেখান হইয়াছে যে, একটি সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছের বিভিন্ন রশ্মিগুলি এক অমসৃণ বস্তুপৃষ্ঠ EFএর উপর O_1, O_2, O_3, ইত্যাদি নানা বিন্দুতে আপতিত হইয়া প্রতিফলনের পর নানা দিকে বিক্ষিপ্ত হইয়া গিয়াছে। অমসৃণ কথাটির অর্থ এই যে, ইহাতে বস্তুপৃষ্ঠের বিভিন্ন বিন্দু এক সমতলে নাই। খস্‌খসে কাগজ, কাঠ, ঘষা কাঁচ, ঘরের ছাদ ও দেওয়াল ইত্যাদি বস্তু হইতে এইরূপ বিক্ষিপ্ত প্রতিফলন ঘটিয়া থাকে। প্রত্যেকটি আপতিত রশ্মি প্রতিফলনের সূত্র মানিয়া চলে বটে, কিন্তু প্রতিফলিত রশ্মিগুলি বস্তুপৃষ্ঠের ভৌত প্রকৃতি অনুযায়ী (আপতন বিন্দুগুলি বিভিন্ন তলে আছে বলিয়া) নানা দিকে বিক্ষিপ্ত হইয়া ছড়াইয়া পড়ে। বিক্ষিপ্ত আলোকের সাহায্যেই আমরা সাধারণতঃ কোন বস্তু দেখিতে পাই।



(a)

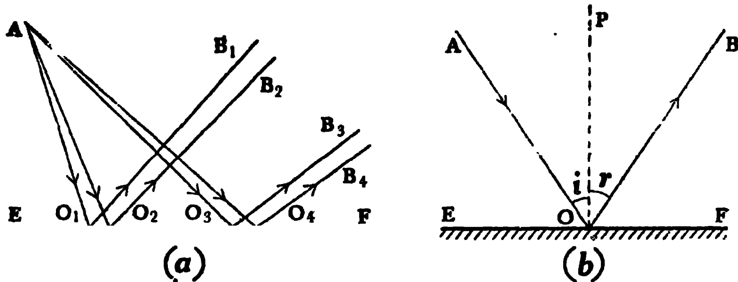


(b)

চিত্র ১০—
নিয়মিত প্রতিফলন (a) ও
বিক্ষিপ্ত প্রতিফলন (b)।

১৪। **নিয়মিত প্রতিফলনের বিশেষ বর্ণনা**ঃ—মনে কর, FF [চিত্র ১১, (b)] একটি প্রতিফলক। A একটি বিন্দুবৎ আলোক-উৎস। A হইতে অসংখ্য আলোকরশ্মি বিকীর্ণ হইতেছে ; মনে কর, AO উহার মধ্যে একটি রশ্মি যাহা প্রতিফলক EFএর উপর পতিত হইতেছে। ইহাকে একটি আপতিত (incident) রশ্মি বলা হয়। ইহা প্রতিফলকের যে বিন্দুতে আপতিত হয় উহাকে আপতনবিন্দু (point of incidence) বলে। AOর আপতনবিন্দু O। আপতনবিন্দুতে প্রতিফলক তলের (reflecting surface) উপর অংকিত লম্ব (normal) হইল OP। নিয়মিত প্রতিফলনের পর রশ্মিটি OB পথে ধাবিত হইলে OBকে প্রতিফলিত রশ্মি (reflected ray) বলে। লম্ব OPর সহিত আপতিত রশ্মি AO যে কোণ

করে ($\angle AOP = i$) উহার নাম আপতনকোণ (angle of incidence)। লম্ব OPর সহিত প্রতিফলিত রশ্মি OB যে কোণ করে ($\angle BOP = r$) উহাকে প্রতিফলনকোণ (angle of reflection) বলে। চিত্র ১১, (a)তে A বিন্দু হইতে বিকীর্ণ $O\ AO_4$ কোণের মধ্যে সীমায়িত সমতলীয় এক রশ্মিগুচ্ছ প্রতিফলক



চিত্র : ১১

EF হইতে নিয়মিত প্রতিফলনের পর কিভাবে পূর্ব মাধ্যমে প্রতিফলিত হইতেছে দেখান হইয়াছে।

১৫। প্রতিফলনের সূত্রাবলী :—

প্রথম সূত্র.—আপতিত রশ্মি, প্রতিফলিত রশ্মি, এবং আপতনবিন্দুতে প্রতিফলকের উপর অংকিত অভিলম্ব একই সমতলে থাকিবে।

দ্বিতীয় সূত্র.—আপতনকোণ প্রতিফলনকোণের সমান হইবে।

মন্তব্য : লম্ব আপতন.—কোন রশ্মি প্রতিফলকের উপর উল্লম্বভাবে আপতিত হইলে আপতনকোণ হইবে 0°। প্রতিফলনের দ্বিতীয় সূত্রানুযায়ী প্রতিফলনকোণ আপতনকোণের সমান হইবে। অতএব প্রতিফলনকোণও হইবে এক্ষেত্রে 0°। সুতরাং আলোকরশ্মি প্রতিফলনের পর এক্ষেত্রে পূর্ব মাধ্যমে বিপরীত দিকে ফিরিয়া যাইবে।

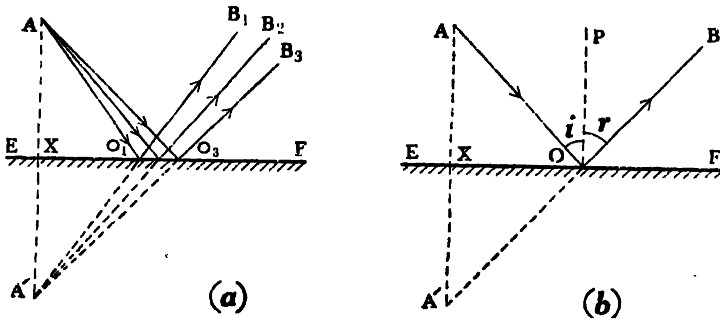
১৬। প্রতিফলিত রশ্মির সাহায্যে গঠিত প্রতিবিম্ব :

(ক) প্রতিবিম্ব (প্রকৃত বা সদ্ বিম্ব এবং অবাস্তব বা অসদ্ বিম্ব).—একাধিক রশ্মির মিলনে বিম্ব গঠিত হয়। এই মিলন প্রকৃত বা অবাস্তব হইতে পারে। কোন বিন্দু হইতে বিকীর্ণ অপসারী আলোকরশ্মিগুলি কোন পৃষ্ঠে প্রতিফলিত হইয়া দিক্ পরিবর্তন করিয়া অভিসারী হইয়া কোন বিন্দুতে মিলিত হইলে এই দ্বিতীয় বিন্দুটিকে প্রথম বিন্দুটির প্রকৃত বা সদ্ বিম্ব বলা হয়।

আবার কোন বিন্দু হইতে বিকীর্ণ অপসারী আলোকরশ্মিগুলি কোন পৃষ্ঠে প্রতিফলিত হইয়া দিক্ পরিবর্তন দ্বারা যদি কোন অবাস্তব বিন্দু হইতে আগত অপসারী রশ্মিগুচ্ছ বলিয়া বোধ হয়, তাহা হইলে ঐ দ্বিতীয় বিন্দুটিকে প্রথম বিন্দুর অসদ্‌বিম্ব বলা হয়। প্রকৃত বা সদ্‌বিম্বের বাস্তব অস্তিত্ব আছে, ইহা রশ্মিসমূহের প্রকৃত মিলনের সাহায্যে গঠিত হয় এবং এইরূপ বিম্ব পর্দার উপর ধরা যায়। অসদ্‌বিম্ব বাস্তব নহে। ইহাতে রশ্মিসমূহকে গতির পশ্চাৎদিকে বর্ধিত করিলে মিলিত হয়। এই বিম্ব দেখা যায় বটে কিন্তু পর্দার উপর ফেলা যায় না।

(খ) বস্তুর প্রতিবিম্ব।—বহু বস্তুবিন্দুর দ্বারা একটি বস্তু গঠিত। তাহা হইলে বস্তুর প্রত্যেক বিন্দুকেই একটি আলোক-উৎস মনে করা চলে। প্রত্যেক বিন্দুরই আপন আপন প্রতিবিম্ব গঠিত হইবে। এই বিম্বগুলির সমষ্টিই হইবে বিস্তৃত বস্তুটির প্রতিবিম্ব।

১৭। **সমতল দর্পণ দ্বারা প্রতিবিম্ব গঠন** ঃ—চিত্র ১২, (*b*) দেখ। EF একখানি সমতল দর্পণ এবং A আলোকের একটি বিন্দুবৎ উৎস। A হইতে অসংখ্য রশ্মি বিকীর্ণ হইতেছে। ইহাদের মধ্যে বহু রশ্মি দর্পণের উপর আসিয়া পড়িতেছে। মনে কর, AO এইরূপ একটি আপতিত রশ্মি। আপতনবিন্দু Oতে প্রতিফলক EFএর উপর লম্ব (OP) টানো। এখন আপতনকোণ AOP ($\angle i$)এর সমান করিয়া লম্বের অন্য পার্শ্বে কোণ BOP ($\angle r$) আঁকো। তাহা হইলে OB হইবে প্রতিফলিত রশ্মি।



চিত্র ১২

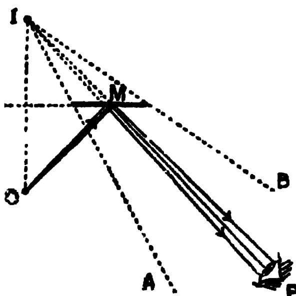
কারণ, প্রতিফলনের দ্বিতীয় সূত্রানুযায়ী $\angle i = \angle r$। এখন A হইতে EF-দর্পণের উপর উল্লম্ব AX টানো। দর্পণের উপর আপতিত রশ্মি AX, XA পথে পূর্ব মাধ্যমে ফিরিয়া আসিবে (অনুচ্ছেদ ১৫, 'লম্ব আপতন' দ্রষ্টব্য)। অতএব A হইতে বিকীর্ণ AX এবং AO রশ্মিদ্বয় দর্পণে প্রতিফলিত হইয়া যথাক্রমে XA ও OB পথে প্রথম মাধ্যমে

ফিরিয়া আসিতেছে। রশ্মিদুইটি স্পষ্টতঃই অপসারী, দর্পণের সম্মুখ দিকে ইহাদের মধ্যে দূরত্ব ক্রমেই বাড়িতে থাকিবে। তবে পিছন দিকে প্রসারিত করিলে রশ্মি-দুইটি A' বিন্দুতে পরস্পরকে ছেদ করিবে। অর্থাৎ, প্রতিফলিত রশ্মিদুইটি A' বিন্দু হইতে আসিতেছে বলিয়া বোধ হইবে। A হইতে বিকীর্ণ আরও বহু রশ্মিও প্রতিফলনের পরে A' হইতে আসিতেছে বলিয়া বোধ হইবে [চিত্র ১২, (a)]। অতএব A', A-বিন্দুর অবাস্তব বা অসদ্ বিম্ব।

এখন AXO এবং $A'XO$ ত্রিভুজদুইটির মধ্যে, $\angle AXO = \angle A'XO$ [সমকোণ বলিয়া], এবং $\angle AOX = \angle A'OX$ (কারণ, $\angle AOX = 90° - i$, $\angle A'OX = \angle FOB = 90° - r = 90° - i$, $\angle i = \angle r$ বলিয়া) এবং XO হইল ত্রিভুজ-দুইটির সাধারণ বাহু ; অতএব ত্রিভুজদুইটি সর্বতোভাবে সমান। $\therefore$ $AX = A'X$। অর্থাৎ, সমতল দর্পণে গঠিত কোন বিন্দুর প্রতিবিম্ব ঐ বিন্দু হইতে দর্পণের উপর অংকিত উল্লম্বরেখার উপরেই দর্পণের পিছনে গঠিত হয় এবং দর্পণ হইতে প্রতিবিম্ববিন্দুর দূরত্ব দর্পণ হইতে উৎসবিন্দুর দূরত্বের সমান হয়। সংক্ষেপতঃ বলিতে গেলে, প্রতিবিম্বদূরত্ব $=$ বস্তুদূরত্ব।

১৮। সূক্ষ্মছিদ্রমুখা ক্যামেরায় যে প্রতিকৃতি পাওয়া যায় উহা প্রতিবিম্ব নহে ঃ—ইহার কারণ এই ঃ (১) ছিদ্রের মধ্য দিয়া যাইবার কালে রশ্মিগুলি দিক্ পরিবর্তন করে না, (২) রশ্মির সদ্ বা অসদ্ মিলনে ইহাতে কোন প্রতিবিম্ব গঠিত হয় না, (৩) ইহাতে ছিদ্র হইতে যে-কোন দূরত্বের প্রতিকৃতি গঠন সম্ভব।

১৯। যে রশ্মিগুলির সাহায্যে সমতল দর্পণে প্রতিবিম্ব দৃষ্টিগোচর হয় ঃ—চিত্র ১৩ দেখ। বস্তু Oর প্রতিবিম্ব Iতে গঠিত। Oর কতকগুলি রশ্মি দর্পণ M হইতে প্রতিফলিত হইয়া চক্ষু Eতে পৌঁছিলে তবেই Oর ঐ প্রতিবিম্বটি চক্ষু Eতে দেখা যাইবে। O হইতে দর্পণ Mএর তলরেখার উপর উল্লম্ব টানো। এই উল্লম্ব-রেখার উপর বস্তু O দর্পণ Mএর যতটা সম্মুখে আছে প্রতিবিম্ব I দর্পণের ঠিক ততটা পিছনে থাকিবে। অতএব প্রতিবিম্ব I দৃষ্টিগোচর হওয়ার সর্ত হইবে—



চিত্র ১৩

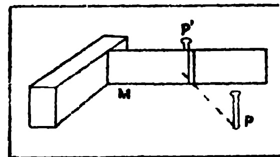
(ক) বস্তু O দর্পণ Mএর সম্মুখে থাকিবে এবং (খ) দর্পণের দুই প্রান্ত ঘেঁষিয়া I

হইতে IA এবং IBর মত রেখাদ্বয় টানিলে উহাদের মধ্যস্থ অঞ্চলে চক্ষু স্থাপন করিতে হইবে।

চিত্র ১৩তে O হইতে বিকীর্ণ তিনটি বিভিন্ন রশ্মি দর্পণ M হইতে প্রতিফলিত হইয়া উল্লিখিত অঞ্চলের মধ্যে অবস্থিত চক্ষু Eতে পৌঁছিতেছে দেখান হইয়াছে। ইহাদের সাহায্যে চক্ষু E প্রতিবিম্ব I-কে দেখিবে।

২০। লম্বনপদ্ধতির (parallax method) সাহায্যে সমতল দর্পণে স্পষ্ট প্রতিবিম্বের অবস্থান-নির্ণয় :—সাধারণ পদার্থবিজ্ঞানে বিশদভাবে বুঝান হইয়াছে যে, দুইটি বস্তু একই স্থানে অবস্থিত হইলে যেভাবেই ইহাদের দেখা যাউক না কেন ইহাদের মধ্যে লম্বন ভুল থাকিবে না। অর্থাৎ, চোখ বামে বা ডাইনে সরাইলে দুইটি বস্তু একই সঙ্গে সরিবে বলিয়া বোধ হইবে, পরস্পর হইতে ইহারা বিচ্ছিন্ন হইবে না। তাহা হইলে লম্বনপদ্ধতির সাহায্যে দুইটি বস্তুর সম-অবস্থিতি নির্ধারণ করা যাইতে পারে।

পরীক্ষা.—চিত্র ১৪ দেখ। একটি ড্রইং বোর্ডের উপর একখানি সাদা কাগজ চার কোণে পিন দিয়া আঁটিয়া লও। ঐ কাগজের মধ্যস্থলে কাঠের ব্লকে ধরা একখানি সমতল দর্পণ (M) খাড়া করিয়া বসাও। এখন দর্পণের সম্মুখে দর্পণের উচ্চতা অপেক্ষা বড় একটি পিন (P) খাড়া করিয়া পুঁতিয়া দাও। সম্মুখ হইতে দেখিলে দর্পণের পিছনে ইহার প্রতিবিম্বটি দেখিতে পাইবে। এখন



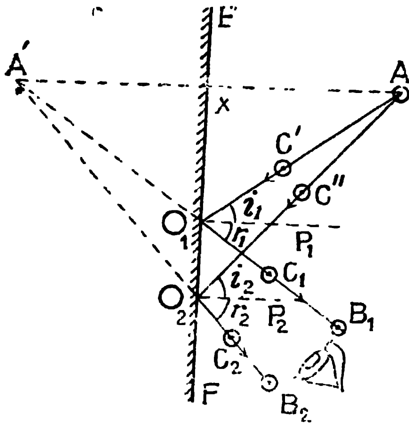
চিত্র ১৪

বারবার চেষ্টা করিয়া (by trial and error) আর-একটি পিন (P') দর্পণের পিছনে এমনভাবে বসাও যেন দর্পণ দ্বারা গঠিত Pর প্রতিবিম্ব এবং পিন P'এর মধ্যে কোন লম্বন ভুল না থাকে। তাহা হইলে P'ই Pর প্রতিবিম্বের স্থানটিতে বসান হইয়াছে বুঝিতে হইবে।

২১। প্রতিফলনের সূত্রাবলীর সত্যতা পরীক্ষা করা :—

(ক) পিন পদ্ধতি—চিত্র ১৫ দেখ। বোর্ডের উপর একখানি সাদা কাগজ পিন দিয়া আঁটিয়া দাও এবং কাগজের উপর একখানি খুব পাত্‌লা বেধের সমতল দর্পণ (EF) খাড়া করিয়া বসাও। একখানি খাড়া খাঁচকাটা কাঠের ব্লকের সাহায্যে

সহজেই ইহা করা যাইতে পারে। দর্পণের সম্মুখে দুইটি পিন (A ও C') খাড়া করিয়া বসাইয়া দাও। AC' রেখা যেন দর্পণের সহিত হেলানভাবে থাকে। এখন দর্পণের দিকে তাকাইলে A ও C'এর প্রতিবিম্ব দেখা যাইবে। চোখ ডাইনে বামে সরাইয়া অবশেষে উহা এমন জায়গায় লইতে হইবে যাহাতে A ও C'-এর বিম্বদ্বয় এবং চক্ষু একই সরলরেখায় থাকে। চক্ষু এই অবস্থায় রাখিয়া ঐ সরলরেখার উপরে দর্পণের সম্মুখে আর দুইটি পিন B_1 ও C_1 এক একটি করিয়া পর পর বসাইয়া দাও। দেখ যে, A ও C'এর প্রতিবিম্বের পাদবিন্দু এবং B_1 ও C_1এর পাদবিন্দু যেন একই সরলরেখায় থাকে। অতএব AC' আপতিত রশ্মি হইলে B_1C_1 হইবে প্রতিফলিত রশ্মি। এখন Aকে ঐ নির্দিষ্ট স্থানেই রাখিয়া C' পিনকে সরাইয়া C'' অবস্থানে বসাও। পূর্বোক্ত নিয়মে AC'' আপতিত রশ্মির জন্য B_2, C_2 এই দুইটি পিন দ্বারা প্রতিফলিত রশ্মি B_2C_2 নির্ণয় কর।



চিত্র ১৫

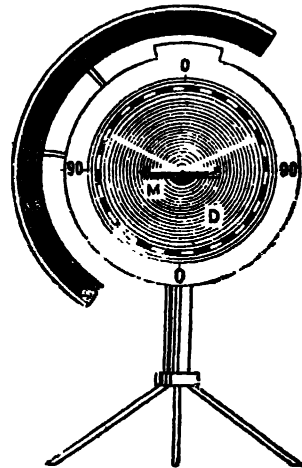
মনে কর AC' ও B_1C_1 বর্ধিত করিলে দর্পণের প্রতিফলন-তল EFএর উপর O_1 বিন্দুতে উহারা মিলিত হইল। আবার AC' ও B_2C_2 বর্ধিত করিলে দর্পণের তলের উপর O_2 বিন্দুতে উহারা মিলিত হইল। O_1 এবং O_2 বিন্দুতে দর্পণের উপর যথাক্রমে লম্ব O_1P_1 ও O_2P_2 আঁকো। AC' একটি আপতিত রশ্মি। ইহার আপতন-কোণ $(\angle AO_1P_1)=i_1$। ইহার জন্য প্রতিফলিত রশ্মি হইল B_1C_1 এবং প্রতিফলন-কোণ $(\angle B_1O_1P_1)=r_1$। একই রূপে AC'' একটি আপতিত রশ্মি এবং উহার আপতন-কোণ $(\angle AO_2P_2)=i_2$। ইহার জন্য প্রতিফলিত রশ্মি হইল C_2B_2 এবং প্রতিফলন কোণ $(\angle B_2O_2P_2)=r_2$।

A পিনের অবস্থান বদলান হয় নাই। B_1O_1 এবং B_2O_2 এই দুইটি প্রতিফলিত রশ্মির রেখা দর্পণের পিছন দিকে বাড়াইয়া দিলে A' বিন্দুতে মিলিত হইবে। A' স্পষ্টতঃই Aর অসদ্ প্রতিবিম্ব। A এবং A' বিন্দুদ্বয় একটি সরলরেখা দ্বারা যুক্ত কর। ইহা দর্পণতল EFকে X বিন্দুতে ছেদ করে। আপতিত

রশ্মি $AC'O_1$, লম্ব O_1P_1 এবং প্রতিফলিত রশ্মি $O_1C_1B_1$ একই সমতলে (কাগজের সমতল) অবস্থিত। সেইরূপ $AC''O_2$, লম্ব O_2P_2 এবং প্রতিফলিত রশ্মি $O_2C_2B_2$ ঐ একই সমতলে অবস্থিত। মাপিলে দেখা যাইবে যে, $\angle i_1 = \angle r_1$ এবং $\angle i_2 = \angle r_2$। $\therefore$ আপতন-কোণ=প্রতিফলন-কোণ। এইভাবে প্রতিফলনের প্রথম ও দ্বিতীয় সূত্রের সত্যতা নিরূপণ করা যায়।

এখন $\angle AXF$ বা $\angle A'XF$ যদি সমকোণ হয় এবং $AX=A'X$ হয়, তাহা হইলে প্রমাণ হইবে যে, কোন বস্তু কোন পাত্‌লা সমতল দর্পণ হইতে যতটা সামনে থাকিবে, প্রতিবিম্ব ঠিক ততটাই ঐ দর্পণের পিছনে থাকিবে এবং প্রতিবিম্ব বস্তু হইতে দর্পণের উপর অংকিত উল্লম্বের প্রসারিত অংশের উপর অবস্থিত থাকিবে।

(খ) হার্ট্‌ল-এর আলোক-চাকৃতি-র (Hartle's optical disc) **সাহায্যে।**—এই আলোক-চাকৃতিটি গোলাকার (চিত্র ১৬) থাকে। ইহা একটি ভারি ষ্ট্যাণ্ডের উপর খাড়াভাবে বসান হয়। চাকৃতিখানিকে ইহার কেন্দ্রীয় একটি অনুভূমিক অক্ষের চারিদিকে খাড়া তলে ঘোরান যায়। চাক্‌তিখানির পৃষ্ঠ সাদা রং করা। ইহা চারিটি কোয়াড্রেন্টে (পাদে) বিভক্ত। ইহার খাড়া ব্যাসের তুই প্রান্তে $0°-0°$ লেখা আছে। অনুভূমিক ব্যাসের তুই প্রান্তে $90°-90°$ লেখা আছে। $0°$ হইতে $90°$ পর্যন্ত চারিটি কোয়াড্রেন্টই এক এক ডিগ্রী করিয়া এবং প্রতি ডিগ্রী উহার ভগ্নাংশে বিভক্ত। চাক্‌তির এক ধার ধরিয়া একটি বক্র ধাতব পর্দা লাগান থাকে। এই পর্দায় একটি রন্ধ্র (slit) আছে। রন্ধ্রটি ইচ্ছামত কমান বাড়ান যায়। এই পথ দিয়া বাহিরের কোন আলোক-উৎস হইতে আলোকরশ্মি চাক্‌তির তল ঘেষিয়া উহার কেন্দ্রের দিকে পাঠান যায়।



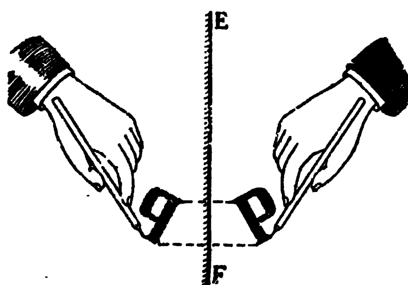
চিত্র ১৬

চাক্‌তির কেন্দ্রে উহার উপর উল্লম্বভাবে একখানি সমতল দর্পণ (M) বসাইয়া দাও। দর্পণের পৃষ্ঠ যেন $90°-90°$ রেখার উপরে থাকে। রন্ধ্র ছোট-বড় করিয়া একটি

হ্রস্ব আলোকরশ্মিগুচ্ছ চাকতি ঘেষিয়া চাকতির কেন্দ্রে দর্পণের উপর আপতিত হইতে দাও। এক্ষেত্রে $0° - 0°$ লাইনকে আপাতন-বিন্দুতে দর্পণের উপর লম্ব বিবেচনা করা চলে। লম্বের সহিত আপতিত রশ্মি যে আপতন-কোণ গঠন করে উহা সরাসরি চাকতির স্কেল হইতে মাপিয়া লওয়া যায় এবং প্রতিফলন-কোণের পাঠও সরাসরি নেওয়া যায়। ইহারা পরস্পরের সমান দেখাইতে পারিলে প্রতিফলনের দ্বিতীয় সূত্রের সত্যতা নিরূপিত হয়। আবার, আপতিত রশ্মি, আপাতন-বিন্দুতে প্রতিফলকের উপর লম্ব এবং প্রতিফলিত রশ্মি চাকতির তলের উপর অর্থাৎ একই তলে থাকে। তাই প্রতিফলনের প্রথম সূত্রের সত্যতাও নিরূপিত হয়।

২২। সমতল দর্পণে প্রতিবিম্বের পার্শ্ব উল্টানো রূপ (Lateral inversion of image) :—সমতল দর্পণের সম্মুখে কোন বস্তু রাখিলে উহার প্রতিবিম্ব উপর-নীচে উল্টাইয়া যায় না, কিন্তু পার্শ্ব দিকে উল্টাইয়া যায়। সমতল দর্পণের সম্মুখে দাঁড়াইয়া বাম হাত নাড়িলে আমরা প্রতিবিম্বটিকে ডান হাত নাড়িতে দেখি। প্রতিবিম্বের আকার বস্তুর আকারের সমান হয়। অবশ্য কোন গোলক বা H, I, O, T প্রভৃতি অক্ষরগুলির মত পার্শ্ব দিকে প্রতিসম বস্তুর ক্ষেত্রে পাশ-উল্টানো রূপ বলিয়া কিছু নাই। পার্শ্ব দিকে অপ্রতিসম বস্তুর ক্ষেত্রে পাশ-উল্টানো প্রতিবিম্ব মূলবস্তুর অনুরূপ হয় না।

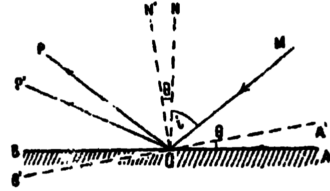
একটি সমতল দর্পণ উপরে-নীচে উল্টানো প্রতিবিম্ব গঠন করে না। এদিক দিয় প্রতিবিম্ব বস্তুর তুলনায় খাড়াই থাকে, উল্টায় না। চিত্র ১৭তে দেখান হইয়াছে যে, ইংরাজী 'P' অক্ষরটি পার্শ্ব দিকে উল্টাইয়া যাওয়ায় সমতল দর্পণে গঠিত প্রতিবিম্ব 'q' হইয়া গিয়াছে। বস্তুর যে-কোন বিন্দু দর্পণের যতটা সামনে থাকিবে ঐ বিন্দুর প্রতিবিম্ব দর্পণের ঠিক ততটাই পিছনে থাকিবে ; এই ঘটনার জন্য প্রতিবিম্বের পাশ উল্টান থাকে।



চিত্র ১৭

দুইটি সমতল দর্পণের সাহায্যে পর পর দুই বার বিম্বিত করিলে শেষ প্রতিবিম্বের পার্শ্ব উল্টান থাকিবে না। একখানি কাগজের উপরের কোন লেখা ব্লটিংকাগজে চুপসাইয়া ব্লটিং কাগজটি দর্পণের সম্মুখে ধরিলে দুই বার পাশ উল্টানর ফলে লেখাটি এবার সোজা পড়া যাইবে।

২৩। কোন সমতল দর্পণ সামান্য কোণে ঘোরান হইলে উহা হইতে প্রতিফলিত রশ্মি দ্বিগুণ কোণ ঘুরিয়া যাইবে ঃ—চিত্র ১৮ দেখ। মনে কর, AB একখানি সমতল দর্পণ। MO রশ্মি ইহার উপর O বিন্দুতে আপতিত হইয়া OP পথে প্রতিফলিত হইয়াছে। মনে কর, NO, ABর উপর O বিন্দুতে লম্ব। দর্পণখানি $\theta°$ ঘুরাইয়া $A'B'$এ আনিলে আপতিত রশ্মি পূর্ব নির্দিষ্ট দিকেই থাকিবে, কিন্তু প্রতিফলিত রশ্মি ঘুরিয়া OP' পথ লইবে। মনে কর, $N'O$ এখন $A'B'$এর উপর O বিন্দুতে লম্ব।



চিত্র ১৮

$\angle AOA' = \theta$। $\angle NON'$ ইহার সমান হইবে।

আপতন-কোণ, $\angle MON = i =$ প্রতিফলন-কোণ $= r = \angle PON$।

প্রতিফলিত রশ্মি ঘুরিয়াছে $\angle P'OP$

$= \angle P'ON - \angle PON = \angle P'ON' + \angle NON' - \angle PON$

$= \angle MON' + \angle NON' - \angle PON$

$= \angle MON + \angle NON' + \angle NON' - \angle PON$

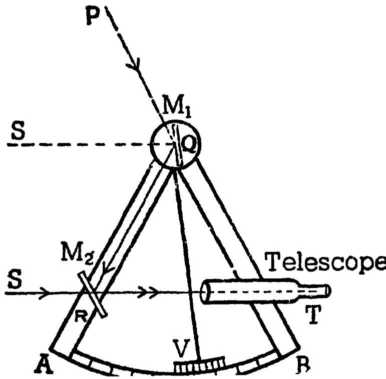
$= 2\angle NON'$, [$\angle MON = \angle PON$ বলিয়া] $= 2\theta =$ দর্পণের ঘূর্ণনকোণের দ্বিগুণ।

প্রতিফলন-গ্যালভেনোমিটার, সেক্সট্যাণ্ট প্রভৃতি যন্ত্রে এই কৌশলনীতির প্রয়োগ আছে।

২৪। সেক্সট্যাণ্ট যন্ত্র ঃ—এই যন্ত্রের সাহায্যে দূরবর্তী দুইটি বস্তুর কৌণিক দূরত্ব সহজে মাপা যায়। নভোমণ্ডলের যে-কোন দৃশ্য বস্তুর (যথা সূর্য ইত্যাদি) উন্নতিও (altitude) এই যন্ত্রে মাপা যায়।

চিত্র ১৯ দেখ। V-আকৃতির একটি দৃঢ় ফ্রেমের সহিত একখানি কৌণিক স্কেল (AB) লাগান আছে। ইহার কৌণিক পাল্লা 60° থাকে। এই ফ্রেমের দুই বাহুর কৌণিক বিন্দুতে একটি বৃত্তাকার ছোট টেবিল (Q) আছে। ইহাকে চতুর্দিকে ধীরে ধীরে ঘুরান যায়। এই ক্ষুদ্র টেবিলটির সহিত একটি সূচকবাহু দৃঢ়ভাবে যুক্ত। সূচকবাহুর মুক্ত প্রান্তের সহিত একটি কৌণিক ভার্নিয়ার (V) লাগান আছে। এই কৌণিক ভার্নিয়ার কৌণিক প্রধান স্কেল ABর ধার ঘেঁষিয়া চলাচল করে। ঘূর্ণন টেবিলের (Q) উপর খাড়াভাবে একখানি ক্ষুদ্র সমতল দর্পণ (M_1) বসান আছে। M_2 আর-একখানি

খাড়াভাবে ধৃত সমতল দর্পণ। ইহার উপরের অর্ধেক স্বচ্ছ এবং নীচের অর্ধেক পারামণ্ডিত। এই দর্পণখানি AQ বাহুর উপর লাগান আছে। ঘূর্ণন টেবিল ঘুরাইয়া সূচকবাহুর ভার্নিয়ারের শূন্য দাগ কৌণিক স্কেল ABর শূন্য দাগ Bতে আনা যায়। ঐরূপ অবস্থায় M_1-দর্পণ M_2-দর্পণের সহিত সমান্তরাল হয়। QB বাহুর উপর একটি টেলিস্কোপ (T) বসান আছে। এই টেলিস্কোপের মুখ থাকে M_2-দর্পণের দিকে।



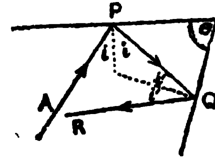
চিত্র ১৯—সেক্সট্যাণ্ট।

মনে কর, Pতে স্থিত কোন জ্যোতিষ্কের উন্নতি নির্ণয় করিতে হইবে। এক্ষেত্রে প্রথমে যন্ত্রটি খাড়া তলে রাখিতে হয়। ইহার পর কোন দূরবর্তী পার্থিব বস্তুকে টেলিস্কোপের ফোকাসে আনা হয়। এই সময় টেলিস্কোপ দ্বারা M_2-দর্পণের স্বচ্ছ অংশের মধ্য দিয়া পৃথিবী-পৃষ্ঠের উপর অবস্থিত কোন দূরবর্তী বস্তুকে নিরীক্ষণ করা হয়। ইহার পর M_1-দর্পণকে ঘূর্ণন টেবিলের সাহায্যে প্রয়োজনমত ঘুরাইয়া এমনভাবে আনা হয় যে, দিগন্ত (S) হইতে আলোক পরপর M ও M_2-দর্পণে প্রতিফলিত হইয়া টেলিস্কোপে পতিত হয়। এইরূপে সোজাপথে-আসা আলো এবং M_1 ও M_2 হইতে পরপর দুই বার প্রতিফলিত হইয়া আসা আলো টেলিস্কোপে যে দুইটি প্রতিবিম্ব গঠন করে উহারা একই স্থানে গঠিত হয় এবং এই অবস্থায় ভার্নিয়ারটি AB স্কেলের যে স্থানে আছে তাহার পাঠ লওয়া হয়। তারপর M_1-দর্পণটি উহার টেবিলের সাহায্যে ঘুরাইয়া এমনভাবে আনা হয় যে, P হইতে আসিয়া আলোকরশ্মি M_1 ও M_2-দর্পণে প্রতিফলিত হইয়া দিগন্তের প্রথম প্রতিবিম্ব যে স্থানে গঠিত হয় সেইখানেই P বস্তুর একটি প্রতিবিম্ব গঠন করে। এই অবস্থায় ভার্নিয়ারের পাঠ আবার লওয়া হয়। প্রথম ও দ্বিতীয় পাঠের মধ্যস্থ কোণ θ হইলে, Pর উন্নতি $= \angle PQS = M_1$-দর্পণ যতটা ঘুরিয়াছে তাহার দ্বিগুণ $= 2\theta$।

অতএব ভার্নিয়ার Vর ঘূর্ণন হইল Pর উন্নতির অর্ধেক। AB কৌণিক স্কেলে $0°$ হইতে $60°$ পর্যন্ত কোণ আছে; কিন্তু উপরোক্ত কারণে ঐ $60°$ কোণকে $120°$ বলিয়া চিহ্নিত করা হয়। অর্থাৎ প্রতি ডিগ্রীকে এই স্কেলে দুই ডিগ্রী বলিয়া দেখান হয়। ইহাতে ভার্নিয়ারের দুই পাঠের অন্তরই হয় সরাসরি পরিলক্ষিত বস্তুটির কৌণিক উন্নতি।

২৫। একবার প্রতিফলনে কোন রশ্মির ব্যত্যয় বা দিক্‌-বিচ্যুতি ঃ—চিত্র ১৮ দেখ। MO রশ্মি প্রতিফলিত না হইলে সোজা আপন দিক্ বরাবর চলিয়া যাইত। প্রতিফলনের ফলে ইহা ঘুরিয়া OP পথে যায়। এই ক্ষেত্রে ব্যত্যয় বা দিক্‌বিচ্যুতির পরিমাণ$=180° - \angle MOP = 180° - (\angle MON + \angle NOP) = 180° - 2i \quad = \pi - 2i$, (এখানে কোণ i হইল MO রশ্মির আপতন-কোণ)।

২৬। পরপর দুই বার প্রতিফলনে রশ্মির ব্যত্যয় বা দিক্‌বিচ্যুতি ঃ—চিত্র ২০-তে দুইখানি সমতল দর্পণ (P এবং Q) পরস্পরের সহিত θ কোণ করিয়া আছে। AP রশ্মি দর্পণ Pর উপর i আপাতন-কোণে পতিত হইয়া PQ পথে প্রতিফলিত হইয়া দ্বিতীয় দর্পণের উপর i' আপতন-কোণে পতিত হইয়াছে। দ্বিতীয় দর্পণে প্রতিফলনের পর রশ্মিটি QR পথ ধরিয়াছে।



চিত্র ২০

প্রথম প্রতিফলনে রশ্মিটির ব্যত্যয় বা দিক্‌বিচ্যুতি$=\pi - 2i$ এবং দ্বিতীয় প্রতিফলনে দিক্‌বিচ্যুতি হইল$=\pi - 2i'$। অতএব মোট ব্যত্যয়$=\pi - 2i + \pi - 2i' = 2\pi - 2 \times (i + i') = 2\pi - 2\theta$।

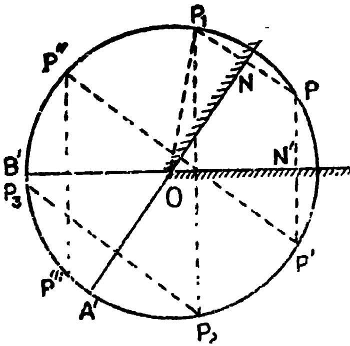
দৃষ্টান্ত ঃ একখানি অনুভূমিক সমতল দর্পণের উপর কোন আলোকরশ্মি $45°$ কোণ করিয়া আপতিত হইয়াছে। আর-একখানি সমতল দর্পণ কিভাবে বসাইলে দ্বিতীয় দর্পণ হইতে প্রতিফলিত হইবার পর রশ্মিটি অনুভূমিক ভাবে অগ্রসর হইবে ?

রশ্মিটি শেষ পর্যন্ত অনুভূমিকভাবে ধাবিত হইবে বলিয়া মোট ব্যত্যয় বা দিক্‌-বিচ্যুতি$=180° + 45° = 225°$। দ্বিতীয় দর্পণটি যদি প্রথম দর্পণের সহিত $\theta°$ কোণ করিয়া থাকে, তাহা হইলে মোট দিক্‌বিচ্যুতি, $2\pi - 2\theta = 225°$; বা $2\theta = 2\pi - 225° = 360° - 225° = 135°$; বা, $\theta = 67{\cdot}5°$।

২৭। পরস্পরের সহিত কোন নির্দিষ্ট কোণে স্থাপিত দুইখানি সমতল দর্পণের দ্বারা গঠিত প্রতিবিম্বসমূহ ঃ—চিত্র ২১ দেখ। OA এবং OB দুইখানি সমতল দর্পণ। ইহারা Oতে মিলিত হইয়াছে এবং পরস্পরের সহিত $\theta°$ কোণ করিয়া আছে। P বস্তুটিকে ঐ দুইখানি দর্পণের মধ্যে রাখা হইয়াছে। OA দর্পণে যে রশ্মিগুলি প্রথম প্রতিফলিত হইবে উহাদের দ্বারা Pর প্রতিবিম্ব P_1 গঠিত হইবে। তাহা

হইলে $OP=OP_1$ হইবে। অর্থাৎ Oকে কেন্দ্র করিয়া OP ব্যাসার্ধ লইয়া একটি বৃত্ত অংকিত করিলে P_1 ঐ বৃত্তের পরিধির উপর থাকিবে। এখন P_1 প্রতিবিম্ব OB-দর্পণের সম্মুখ দিকে থাকায় একটি বস্তুর মত কাজ করিবে এবং OB-দর্পণে P_2 হইবে উহার প্রতিবিম্ব। এখানেও $OP_2=OP_1$ হইবে; অর্থাৎ P_2 পূর্বে অংকিত বৃত্তের পরিধির উপরেই থাকিবে। এখন P_2, AO-দর্পণের সম্মুখে থাকায় P_3 প্রতিবিম্ব গঠিত হইবে এবং P_3ও ঐ একই পরিধির উপর থাকিবে। P_3 উভয় দর্পণের পশ্চাতে পড়িয়া যাওয়ায় ইহা হইতে আর কোন প্রতিবিম্ব গঠিত হইবে না।

অন্য পর্যায়ে আবার P বস্তু OB-দর্পণের সম্মুখে থাকায় যে রশ্মি OB হইতে প্রথম প্রতিফলিত হইবে উহার দ্বারা পূর্বের অঙ্কিত বৃত্তের পরিধির উপর OBর পিছনে P' এক প্রতিবিম্ব হইবে। P' প্রতিবিম্ব OA-দর্পণের সম্মুখে থাকায় ঐ একই পরিধির উপর আবার P'' প্রতিবিম্ব গঠিত হইবে। P'', OB-দর্পণের সম্মুখে থাকায় ঐ পরিধির উপর P''' প্রতিবিম্ব গঠিত হইবে। P''' উভয় দর্পণের পশ্চাতে পড়িয়া যাওয়ায় উহা হইতে আর নূতন কোন প্রতিবিম্ব গঠিত হইবে না।

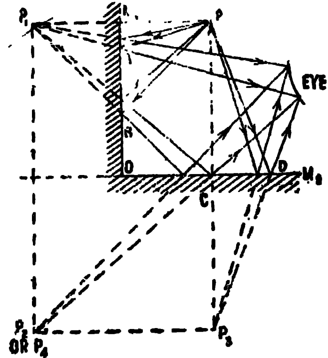


চিত্র ২

সব কয়টি প্রতিবিম্ব একই বৃত্তের পরিধির উপর থাকিবে। এই বৃত্তের কেন্দ্র হইল দর্পণদুইটির সংযোগস্থল এবং ব্যাসার্ধ এই সংযোগস্থল হইতে মূল বস্তুর দূরত্বের সমান। গঠিত প্রতিবিম্বের সংখ্যা θ কোণের উপর নির্ভর করে। প্রমাণ করা যায় যে, প্রতিবিম্বের সংখ্যা$=\left(\frac{2\pi}{\theta}-1\right)$ হইবে। $\theta=90^\circ$ হইলে, প্রতিবিম্বের সংখ্যা$=\left(\frac{2\pi}{\pi/2}-1\right)=3$ হইবে (চিত্র ২২ দেখ)। $\theta=60^\circ$ হইলে ঐ সংখ্যা হইবে$=\left(\frac{2\pi}{\pi/3}-1\right)=5$। রাশি $\left(\frac{2\pi}{\theta}-1\right)$ একটি পূর্ণসংখ্যা না হইলে প্রতিবিম্বের সংখ্যা উহার পরবর্তী পূর্ণসংখ্যার সমান হইবে।

৩২৮। পরস্পরের সহিত সমকোণে অবস্থিত দুইখানি দর্পণে গঠিত প্রতিবিম্ব এবং কিভাবে ইহার দৃষ্টিগোচর হয়:—চিত্র ২২ দেখ। M_1

ও M_2 দুইখানি সমতল দর্পণ Oতে সমকোণে মিলিত হইয়াছে P ইহাদের মধ্যে অবস্থিত এক আলোকিত বস্তুবিন্দু। প্রথমতঃ মনে করা যাক্‌, P হইতে বিকীর্ণ দুইটি রশ্মি M_1এর উপর পতিত হইয়াছে এবং প্রতিফলিত হইয়া চক্ষুতে পৌছিয়াছে। রশ্মিদুইটি প্রতিফলিত হইয়া P_1 হইতে আসিতেছে বলিয়া P_1 হইল M_1-দর্পণে বস্তুর প্রথম প্রতিবিম্ব। আবার P হইতে বিকীর্ণ আরও কিছু বেশি হেলানো দুইটি রশ্মি ঐ M_1-দর্পণ হইতেই প্রতিফলিত হইয়া চোখে পৌছিবার পূর্বে M_2-দর্পণে পড়িয়া দ্বিতীয়বার প্রতিফলিত হইয়া তবে চোখে গিয়াছে। ফলে P_2তে একটি প্রতিবিম্ব দেখা যাইতেছে।



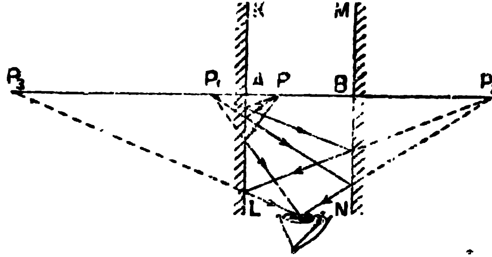
চিত্র ২২

অনুরূপভাবে প্রথমতঃ M_2-দর্পণে প্রতিফলিত রশ্মি বিবেচনা করিলে P_3 এবং P_4 প্রতিবিম্ব চোখে দেখা যাইবে। প্রকৃতপক্ষে P_2 এবং P_4 প্রতিবিম্ব একই স্থানে গঠিত হয় বলিয়া এক্ষেত্রে প্রতিবিম্বের মোট সংখ্যা হইবে তিন।

২৯। **ক্যালিডোস্কোপ** (Kaleidoscope) **:**—এই যন্ত্রে একটি টিউবের মধ্যে পরস্পরের সহিত 60° কোণে হেলানো তিনখানি ছোট ছোট দর্পণ আছে। টিউবের এক মুখে দুইখানি গোল পাত্‌লা কাঁচের মধ্যে নানা বর্ণের কতকগুলি স্বচ্ছ পুঁতি ভর্তি করা হয়। টিউবটির অন্য মুখ বন্ধ থাকে আর-একখানি সমতল গোল অস্বচ্ছ কাঁচ দ্বারা—ইহার মধ্যে একটি পর্যবেক্ষণ ছিদ্র রাখা হয়। পুঁতিগুলির দিক্‌ সাদা আলোর দিকে ধরিয়া অন্য প্রান্তে পর্যবেক্ষণ ছিদ্রে চোখ রাখিলে নানা রংএ রঙীন এক নমুনা (pattern) দেখিতে পাওয়া যায়। নানা রং-এর আলো ঐ তিন টুকরা দর্পণে বহুবার পর পর প্রতিফলিত হইয়া চক্ষুতে আসিয়া পড়ে, তাই এরূপ হয়। টিউবটি সামান্য ঘুরাইলেই নমুনাটি বদলাইয়া যায়। ইহার কারণ, নানা রংএর পুঁতিগুলির অবস্থান ইহাতে পরিবর্তিত হইয়া যায়।

৩০। **সমান্তরাল দুই দর্পণে বহু-প্রতিফলন :**—KL ও MN দুইখানি সমান্তরাল সমতল দর্পণ এবং P ইহাদের মধ্যে অবস্থিত একটি বস্তু (চিত্র ২৩)। P হইতে দর্পণের উপর একটি উল্লম্ব টানিয়া উহাকে উভয় দিকে প্রসারিত করিয়া দাও। মনে কর যে, এই লম্ব KL ও MNকে যথাক্রমে A ও B বিন্দুতে ছেদ করে। ধরা যাক্‌ যে, KL

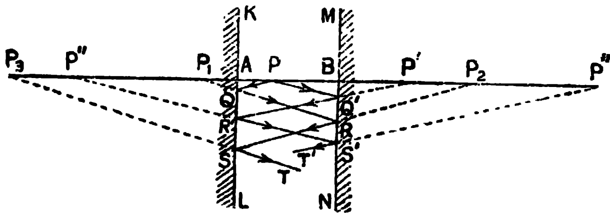
দ্বারা P-বিন্দুর প্রথম প্রতিবিম্ব গঠিত হইবে P_1-বিন্দুতে ($AP = AP_1$)। KL দর্পণ হইতে প্রতিফলিত যে রশ্মিগুলি অসদ্‌বিম্ব P_1 হইতে আসিতেছে বলিয়া বোধ হয় উহারা সম্মুখ দিকে অগ্রসর হইয়া MN-দর্পণে প্রতিফলিত হইবে এবং P_2-বিন্দুতে এক অসদ্‌ বিম্ব গঠন করিবে। অতএব $BP_1 = BP_2$ হইবে। এইভাবে তৃতীয় অসদ্‌ বিম্ব P_3-ও



চিত্র ২৩

($AP_2 = AP_3$) গঠিত হইবে। প্রতিবিম্বগুলি কিভাবে দৃষ্টিগোচর হইবে তাহা চিত্র ২৩এ দেখান হইয়াছে।

এবার, প্রথম প্রতিবিম্বটি KLএর পরিবর্তে MN দ্বারা গঠিত হইবে ধরা হইলে, বুঝা যাইবে যে, P বস্তুর একটি প্রতিবিম্ব MN দর্পণের পিছনে P'এ পড়িবে ($BP = BP'$, চিত্র ২৪) এবং ইহা হইতে পরপর আরও কতগুলি প্রতিবিম্ব KL এবং MNদ্বারা পর্যায়ক্রমে সৃষ্ট হইবে। লম্ব ABর উভয় পার্শ্বে উল্লিখিত দুই প্রস্থ প্রতিবিম্ব যথা P_1, P_2, P_3 ইত্যাদি এবং P', P'', P''' ইত্যাদি চিত্র ২৪এ দেখান হইয়াছে। তাত্ত্বিক বিচারে

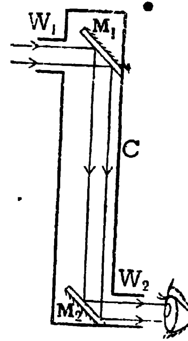


চিত্র ২৪

প্রতিবিম্বের সংখ্যা হওয়া উচিত শেষহীন। অবশ্য, দূরের প্রতিবিম্বগুলির উজ্জ্বলতা ক্রমেই কম হইবে বলিয়া শেষের দিকের প্রতিবিম্বগুলিকে আর চোখে দেখা যাইবে না। এই কারণে প্রতিবিম্বের সংখ্যা বাস্তব ক্ষেত্রে অনেক হইবে বটে কিন্তু অসংখ্য হইবে না।

৭.৩১। **সরল পেরিস্কোপ :—**চক্ষুর সম্মুখে আলোক-প্রতিবন্ধক থাকিলেও উহার পরপারের বস্তু এই যন্ত্রের সাহায্যে দেখা যায়। চিত্র ২৫ দেখ। C একটি চোঙ। ইহার

ভিতরের দেওয়ালে কালো রঙ লাগাইয়া আভ্যন্তরীণ প্রতিফলন বন্ধ করা হয়। চোঙটির উপর ও নীচে দুই বিপরীত দিকে দুইটি পার্শ্বমুখ বা গবাক্ষ আছে (W ও W_2)। W_1 গবাক্ষের দিকে মুখ করিয়া M_1 দর্পণ এবং W_2 গবাক্ষের দিকে মুখ করিয়া M_2 দর্পণ চোঙটির ভিতরে বসান হইয়াছে। M_1 ও M_2 দর্পণদুইটির প্রতিফলন পৃষ্ঠদ্বয়কে মুখোমুখী এবং পরস্পরের সহিত সমান্তরাল করিয়া টিউবের অক্ষের সহিত 45° কোণে বসান হয়। টিউবটি খাড়া করিয়া ধরিলে দূরের বস্তু হইতে সমান্তরাল এক আলোকরশ্মিগুচ্ছ M_1 দর্পণের উপর 45° আপতন-কোণে পতিত হইয়া প্রতিফলনের পর টিউবের অক্ষ বরাবর সোজা গিয়া M_2 দর্পণ দ্বারা আবার প্রতিফলিত হইবে। স্পষ্টতঃই এই সকল রশ্মি M_2 দর্পণের উপর 45° আপতন-কোণে

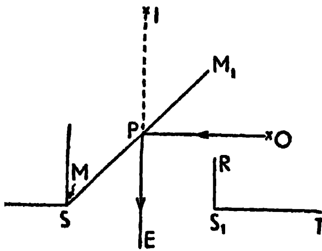


চিত্র ২৫

পতিত হইবে এবং প্রতিফলনের পর পেরিস্কোপ হইতে বাহির হইয়া (যন্ত্রে প্রবেশকারী রশ্মিগুলির সহিত সমান্তরালভাবে) চক্ষুতে প্রবেশ করিবে। তাই বুঝা যাইতেছে যে, W_1 গবাক্ষ প্রতিবন্ধকের উপরে তুলিয়া ধরিয়া এবং চক্ষু নীচের গবাক্ষ W_2তে রাখিয়া প্রতিবন্ধকের পরপারের বস্তুকে দেখা যাইতে পারা যাইবে। পেরিস্কোপের দৈর্ঘ্য প্রতিবন্ধকের উচ্চতা হইতে বেশি হওয়া অবশ্য দরকার হইবে।

৩২। কয়েকটি আলোক-ধাঁধাঁর ব্যাখ্যা ঃ—

(ক) জলের মধ্যে জলন্ত মোমবাতি।—MM_1 একখানি স্বচ্ছ কাঁচের প্লেট। চিত্র ২৬এ প্রদর্শিত রূপে ইহাকে খাড়াভাবে রাখা হইয়াছে। O বিন্দুতে RS_1T-পর্দার পিছনে একটি প্রজ্বলিত মোমবাতি রাখা হইয়াছে। I-অবস্থানে একটি জলপূর্ণ কাঁচের পাত্র আছে। Eতে অবস্থিত দর্শকের মনে হইবে যে জলের মধ্যে মোমবাতিটি জ্বলিতেছে। মোমের শিখা হইতে OP আলোকরশ্মিগুচ্ছ MM_1 প্লেটে পতিত হইয়া (আপতন-কোণ 45°) আংশিকভাবে প্রতিফলিত

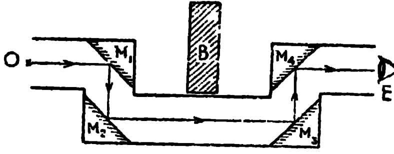


চিত্র ২৬

হইবে এবং PE পথে অগ্রসর হইবে, ($\angle OPE = 90°$ হইবে)। অতএব Eতে

অবস্থিত দর্শকের মনে হইবে যে শিখা I-তে জ্বলিতেছে ($PI=PO$ হইবে)। স্বচ্ছ প্লেটটির মধ্য দিয়া জলপূর্ণ কাঁচের পাত্রটিকেও দেখা যাইবে। এইজন্য মনে হইবে যে, জলের মধ্যে মোমবাতি জ্বলিতেছে। তাই বুঝিতেছ যে, সমতলপৃষ্ঠে আলোর প্রতিফলন-ক্রিয়ার উপর ভিত্তি করিয়া এই ধাঁধাঁটি সৃষ্টি করা হয়।

(খ) ইটের মধ্য দিয়া দেখা।—চিত্র ২৭ দেখ। O একটি বস্তুর অবস্থান সূচিত করিতেছে। চক্ষু আছে E-তে। E এবং Oর মধ্যে একখানি অস্বচ্ছ ইট (B) আছে। দুই জোড়া সমতল দর্পণ M_1-M_2 এবং M_3-M_4 চিত্রে যেরূপ নির্দেশ করা আছে ঐরূপে রাখিতে হইবে। ধাঁধাঁটি এই যে, ইটের মধ্য দিয়া চক্ষু E বস্তু Oকে দেখিতে পাইবে।



চিত্র ২৭

অংকন হইতে বুঝিতেছ যে, ব্যবস্থাটি সমান কোণে বিপরীত দিকে হেলানো দুইটি সরল পেরিস্কোপের ক্রিয়া মাত্র। M_1-M_2 পেরিস্কোপের সাহায্যে অলোকরশ্মিগুলিকে নীচে নামাইয়া লওয়া হইতেছে এবং উহা হইতে বহির্গত রশ্মিগুলি ইটের তলা দিয়া গিয়া M_3-M_4 পেরিস্কোপে পড়িতেছে। এই পেরিস্কোপটি ঐ রশ্মিগুলিকে আবার ঐ পরিমাণ উপরে তুলিয়া শেষ পর্যন্ত Oর বরাবর চক্ষু Eতে নিয়া পৌছাইতেছে। O হইতে যে আলো চক্ষু Eতে শেষ পর্যন্ত গিয়া পৌছাইতেছে তাহা অস্বচ্ছ ইট Bর মাঝামাঝি বরাবর আসিতেছে বলিয়া ইটের মধ্য দিয়া E, Oকে দেখিতেছে মনে হইবে।

৩৩। দর্পণ ও দ্রষ্টব্য বস্তুর মধ্যে একটি যদি স্থির এবং অপরটি চলমান হয় তাহার ফল কি হইবে ঃ—

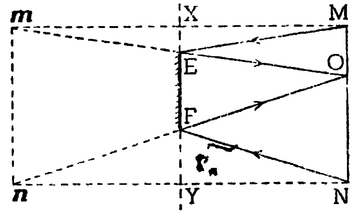
(ক) বস্তুটি স্থির এবং দর্পণ চলমান হইলে।—মনে কর, একটি সমতল দর্পণ হইতে d দূরত্বে কোন বস্তু আছে। তাহা হইলে, প্রতিবিম্ব দর্পণের পিছন দিকে দর্পণ হইতে d দূরত্বে গঠিত হইবে। এখন দর্পণটি বস্তুর দিকে x ফুট সরিয়া আসিলে বস্তুটির নূতন দূরত্ব হইবে $d-x$। পূর্বে প্রতিবিম্ব বস্তু হইতে $d+d(=2d)$ দূরে ছিল। এখন প্রতিবিম্ব বস্তু হইতে $(d-x)+(d-x)=2d-2x$ দূরে থাকিবে। অর্থাৎ দর্পণ বস্তুর দিকে x ফুট আগাইলে প্রতিবিম্ব বস্তুর দিকে আগাইবে $2d-(2d-2x)=2x$।

(খ) দর্পণটি স্থির এবং বস্তু চলমান হইলে।—দর্পণ হইতে বস্তুর দূরত্ব যখন d ফুট, উহার প্রতিবিম্বের দূরত্ব দর্পণের বিপরীত দিকে d ফুট হইবে। অর্থাৎ তখন বস্তু ও প্রতিবিম্বের পারস্পরিক দূরত্ব $2d$ ফুট হইবে। বস্তু দর্পণের দিকে x ফুট অগ্রসর

হইলে দর্পণ হইতে বস্তুটির নূতন দূরত্ব হইবে $d-x$। তাহা হইলে, দর্পণ হইতে বিপরীত দিকে প্রতিবিম্বের দূরত্ব হইবে $d-x$। অতএব প্রতিবিম্ব বস্তর দিকে $d-(d-x)=x$ ফুট অগ্রসর হইবে। সুতরাং বস্তু দর্পণের দিকে যতটা অগ্রসর হয় প্রতিবিম্বও দর্পণের দিকে ঠিক ততটাই অগ্রসর হয়।

৩৪। পূর্ণ প্রতিবিম্ব দেখার জন্য দর্পণের আবশ্যকীয় আকার ঃ—

(ক) যে-কোন ব্যক্তি তাহার অর্ধেক মাপের সমতল দর্পণে নিজের পূর্ণ প্রতিবিম্ব দেখিতে পারে—চিত্র ২৮ দেখ। মনে কর, MN হইল ব্যক্তিটির উচ্চতা এবং EF হইল তাহার পূর্ণ অবয়ব দেখার উপযোগী একটি খাড়াভাবে ধৃত সমান্তরাল সরল দর্পণ। O ঐ ব্যক্তির চক্ষুর অবস্থান ধরা যাক্। mn ব্যক্তিটির প্রতিবিম্ব। তাহা হইলে Mm অনুভূমিক রেখা এবং Nn অনুভূমিক রেখা উভয়েই দর্পণ EFএর তল



চিত্র ২৮

XY দ্বারা দ্বিখণ্ডিত হইবে, কারণ সরল দর্পণের সম্মুখে বস্তু যত দূরে থাকে উহার প্রতিবিম্বও দর্পণের পশ্চাতে ঠিক তত দূরেই থাকে। M হইতে ME রশ্মি EO পথে প্রতিফলিত হইয়া চক্ষুতে পৌছিতেছে। তাই ঐ রশ্মি m হইতে আসিতেছে বলিয়া বোধ হয়। এইজন্য m, Mএর প্রতিবিম্ব। অনুরূপভাবে N হইতে NF রশ্মি FO পথে প্রতিফলিত হইয়া চক্ষুতে পতিত হয় এবং ফলে, Nএর প্রতিবিম্ব হয় n। $MN=mn$। OEF এবং Omn ত্রিভুজদুইটি সদৃশ হইবে।

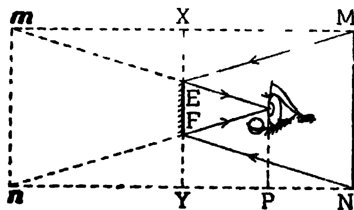
তাই, $$\frac{EF}{mn}=\frac{EO}{mO} \qquad (১)$$

আবার, mEX এবং mOM ত্রিভুজদুইটি সদৃশ হইবে বলিয়া, $$\frac{mE}{mO}=\frac{mX}{mM} \qquad (২)$$

সমীকরণ (২) হইতে $$\frac{mO-mE}{mO}=\frac{mM-mX}{mM}\text{ ; বা, }\frac{EO}{mO}=\frac{XM}{mM}=\frac{1}{2} \qquad (৩)$$

সমীকরণ (১) এবং (৩) হইতে, $\frac{EF}{mn}=\frac{XM}{mM}=\frac{1}{2}$; বা, $EF=\frac{1}{2}mn=\frac{1}{2}MN$, (কারণ, $MN=mn$)। অর্থাৎ দর্পণের আবশ্যকীয় সর্বনিম্ন আকার ব্যক্তিটির আকারের অর্ধেক হইবে।

(খ)। একটি দেওয়ালের খাড়া পীঠে একখানি সমতল দর্পণ টাঙানো আছে। ঘরের ঠিক মধ্যস্থল হইতে কোন ব্যক্তি দর্পণের দিকে তাকাইয়া তাহার পিছনের দেওয়ালের পূর্ণ প্রতিবিম্ব দেখিতেছে। দর্পণখানির আবশ্যকীয় নিম্নতম আকার কত হইবে? চিত্র ২৯ দেখ। EF ও MN যথাক্রমে আবশ্যকীয় সর্বনিম্ন আকারের দর্পণ ও উহার সম্মুখের দেওয়াল সূচিত করিতেছে। XY হইল দর্পণের খাড়া তল। চক্ষু আছে Oতে ঘরের মধ্যস্থলে। তাহা হইলে, OP-রেখা YN সরলরেখার উপর উল্লম্ব কল্পনা করা হইলে, P বিন্দু হইবে YN রেখার মধ্যবিন্দু। mn হইল MN দেওয়ালের প্রতিবিম্ব।



চিত্র ২৯

দর্পণের তল XY, স্পষ্টতঃই, Mm এবং Nnকে দ্বিখণ্ডিত করিবে। M হইতে ME রশ্মি দর্পণের E হইতে প্রতিফলিত হইয়া EO পথে চক্ষু Oতে পৌছিলে উহা m হইতে আসিতেছে মনে হইবে, কারণ O, mn প্রতিবিম্ব দেখিতেছে। অনুরূপ ভাবে N হইতে NF রশ্মি দর্পণের F হইতে প্রতিফলিত হইয়া FO পথে Oতে পৌছিলে উহা n হইতে আসিতেছে বলিয়া বোধ হইবে। তাহা হইলে দাঁড়াইল এই, $YN = Yn$ এবং $YP = \frac{1}{2}\, YN = \frac{1}{2}\, Yn = \frac{1}{3}\, Pn$।

POn ত্রিভুজে $YP = \frac{1}{3}\, Pn$ এবং OP ও YF সমান্তরাল; সুতরাং, $OF = \frac{1}{3}\, On$। একই ভাবে, $OE = \frac{1}{3}\, Om$। সুতরাং OEF এবং Omn সদৃশ ত্রিভুজদ্বয়ের মধ্যে, $\frac{OE}{Om} = \frac{OF}{On} = \frac{1}{3}$। সুতরাং $\frac{EF}{mn} = \frac{EF}{MN} = \frac{1}{3}$ হইবে।

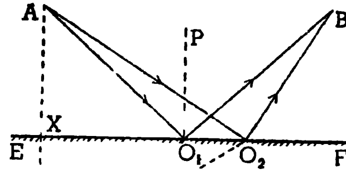
অর্থাৎ, দর্পণের আবশ্যকীয় নিম্নতম আকার = দেওয়ালের আকারের অন্ততঃ এক-তৃতীয়াংশ হওয়া দরকার।

৩৫। গোধূলি :—ইহা একটি আলোক বিক্ষেপের ঘটনা। পৃথিবীপৃষ্ঠে নির্দিষ্ট স্থলে সূর্যাস্তের পর সূর্যালোক সোজাসুজি আসিতে পারে না। সূর্যের বিকীর্ণ রশ্মি ঊর্ধ্বাকাশের ধূলিকণায় পড়িয়া বা বায়ুর অণুর দ্বারা চতুর্দিকে বিক্ষিপ্ত হইয়া আংশিক-ভাবে কিছু সময়ের জন্য ঐ স্থলে পৌছে। এই ঘটনারই নাম গোধূলি।

Example

EF is a plane reflecting surface on which a ray AO_1 is incident at O_1 and O_1B is the corresponding reflecting ray (Fig. 30). If O_2 is another point on the reflecting surface EF, show that

$(AO_1+O_1B)<(AO_2+O_2B)$ ।



চিত্র ৩০

উত্তর : A হইতে EFএর উপর AX অভিলম্ব টান এবং ইহাকে বর্ধিত করিয়া BO_1-কে (বর্ধিত) A' বিন্দুতে ছেদ করাও। $A'O_2$, AO_2 এবং BO_2 যুক্ত কর। O_1 বিন্দুতে EFএর উপর O_1P উল্লম্ব আঁক। এখন প্রমাণ করা যায় যে, $AX=A'X$। A' হইতেছে Aর প্রতিবিম্ব। AO_1X ও $A'O_1X$ ত্রিভুজদ্বয়ের $AO_1=A'O_1$।

এখন, $(A'O_2+O_2B)>A'B$; অর্থাৎ, $(A'O_2+O_2B)>(A'O_1+O_1B)>(AO_1+O_1B)$। AO_2X এবং $A'O_2X$ ত্রিভুজদ্বয় হইতেও প্রমাণ করা যায় যে, $AO_2=A'O_2$। তাহা হইলে, $(AO_2+O_2B)>(AO_1+O_1B)$, বা, $(AO_1+O_1B)<(AO_2+O_2B)$।

এই দৃষ্টান্তটি হইতে প্রতিপন্ন হইল যে, সরল দর্পণে নিয়মিত প্রতিফলনের বেলা আলোক সর্বদা হ্রস্বতম পথে চলে। ইহাকে ফার্মাটের হ্রস্বতম পথের নীতি (Fermat's Principle of Least path) বলা হয়।

Exercises

1. Distinguish between reflected light and scattered light. State the laws of reflection and describe an experiment by which you can verify them.

2. What do you mean by the image of an object ? When do you call an image real and when virtual ?

3. Two plane mirrors are inclined at an angle to each other. A ray of light parallel to one of the mirrors travels, after two reflections, parallel to the other. Find the angle between the mirrors. **উত্তর :** 60°।

4. Prove that when a plane mirror is turned through an angle, the reflected light is turned twice as much.

5. Describe a sextant and explain the principle of its use.

6. Two plane mirrors are inclined at an angle of 90° to each other. Show on a diagram the positions of the images formed of an object placed between the mirrors, and draw the rays by which an eye sees the image formed by two successive reflections.

7. Explain how two parallel mirrors fixed in a long tube would enable a small boy to see a football match over the head of a tall man standing in front of him.

8. Show that a person requires a plane mirror of one half of his own size in order to see a full-length image of himself. Illustrate your answer by a diagram.

9. How would you arrange two plane mirrors so that you could see the back of your head? Show on a diagram the path of the light as it reaches the eye.

10. Set up a plane mirror so as to produce the illusion of a candle burning in water.

11. A man running towards a plane mirror at the rate of 5 ft./sec. approaches his image at the rate of 10 ft./sec. Explain.

12. A large plane mirror stands vertically at a certain distance from a man who views his reflection in it. Compare the rate of motion of the image with the rate of motion of (*a*) the man, when the man moves towards the fixed mirror, (*b*) the mirror, when the mirror is moved towards the stationary man.

তৃতীয় পরিচ্ছেদ

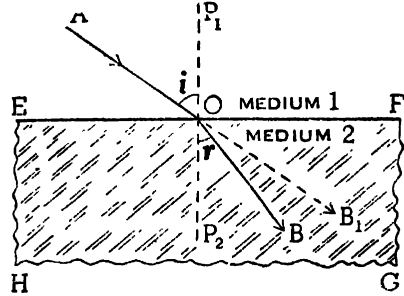
আলোকের প্রতিসরণ

৩৬। **আলোকের প্রতিসরণ** :—সর্বত্র সমধর্মী কোন স্বচ্ছ মাধ্যমের মধ্য দিয়া আলোক সরলরেখাপথে ধাবিত হয়। কিন্তু এক মাধ্যম হইতে অন্য মাধ্যমে যাওয়ার কালে দুই মাধ্যমের আন্তঃতল (interface) অতিক্রম করিবার সময় (আপতন তির্যক-ভাবে হইলে) আলোকরশ্মির গতির দিক্ পরিবর্তিত হয়। দ্বিতীয় মাধ্যমে রশ্মি ঐ পরিবর্তিত দিকে সরলরেখায় ধাবিত হয়। দ্বিতীয় মাধ্যম ঘনতর* হইলে রশ্মিটি আপাতন-বিন্দুতে আপতন-পৃষ্ঠের লম্বের দিকে সরিয়া সরলরেখায় অগ্রসর হয়। দ্বিতীয় মাধ্যমটি অপেক্ষাকৃত পাত্‌লা হইলে রশ্মিটি ঐ লম্ব হইতে দূরে সরিয়া অগ্রসর হয়।

* কোন মাধ্যমের মধ্যে আলোকের গতি অপেক্ষাকৃত অল্প হইলে ঐ মাধ্যমকে ঘনতর বলা হয়। অপরপক্ষে, কোন মাধ্যমের মধ্যে আলোকের গতি অপেক্ষাকৃত অধিক হইলে ঐ মাধ্যমকে অপেক্ষাকৃত পাত্‌লা বলা হয়।

দুইটি আলোকমাধ্যমের আন্তঃতলে আলোকের নিজ গতিপথের এই দিক্-পরিবর্তন বা বেঁকিয়া-যাওয়ার ঘটনাকে আলোকের প্রতিসরণ বলা হয়।

রশ্মিটির প্রথম মাধ্যমের অংশকে আপতন-রশ্মি এবং দ্বিতীয় মাধ্যমের অংশকে প্রতিসৃত রশ্মি বলা হয়। চিত্র ৩১এ EF হইল দুইটি বিভিন্ন ঘনত্ববিশিষ্ট আলোক-মাধ্যমের সমতল সীমানাপৃষ্ঠ। মনে করা যাক্ যে, প্রথম মাধ্যম হইল বায়ু এবং দ্বিতীয় মাধ্যম বায়ু হইতে ঘনতর। AO রশ্মি হেলানভাবে EFএর উপর আপতিত হইয়াছে। মনে কর, P_1OP_2 হইল আপতন-বিন্দু Oতে EFএর উপর অভিলম্ব। $\angle AOP_1$ হইল AO রশ্মির আপতন কোণ। OB দ্বিতীয় মাধ্যমে ইহার সঞ্চারিত প্রতিসৃত রশ্মি। $\angle BOP_2$ হইল প্রতিসরণ-কোণ। প্রতিসরণ না হইলে মূল রশ্মিটি AOB_1 সরল পথে ধাবিত হইত। কিন্তু প্রতিসরণ হওয়ার ফলে রশ্মিটি OB_1 হইতে অভিলম্বের দিকে OB বরাবর সরিয়া আসিতেছে। দ্বিতীয় মাধ্যম ঘনতর বলিয়াই এইরূপ ঘটিয়াছে।



চিত্র ৩১

৩৭। প্রতিসরণের সূত্রাবলী :—

প্রথম সূত্র—আপতিত রশ্মি, প্রতিসৃত রশ্মি এবং আপতন-বিন্দুতে দুই মাধ্যমের আন্তঃতলের উপর অংকিত অভিলম্ব একই সমতলে থাকিবে।

দ্বিতীয় সূত্র—একই রংএর আলোর বেলা ও একই মাধ্যমযুগলের ক্ষেত্রে আপতন-কোণের সাইন ($\sin i$) এবং প্রতিসরণ-কোণের সাইন ($\sin r$) সর্বদা একই অনুপাত রক্ষা করিবে। সংক্ষেপতঃ,

$$\frac{\text{আপতন-কোণের সাইন}}{\text{প্রতিসরণ-কোণের সাইন}} = \text{ধ্রুবক},$$ (একই রংএর আলোক এবং একই মাধ্যমযুগলের ক্ষেত্রে)। ইহার অর্থ হইল এই যে, এই ধ্রুবকটির মান আপতন-কোণের মানের উপর নির্ভর করে না।

দ্বিতীয় সূত্রটি লেডেন (Leyden) বিশ্ববিদ্যালয়ের গণিত ও বলবিদ্যার অধ্যাপক স্নেল ১৬২১ খৃষ্টাব্দে আবিষ্কার করেন। এইজন্য ইহাকে **স্নেলের সূত্র** বলা হয়। কখনও কখনও ইহাকে সাইনের সূত্রও বলা হয়।

৩৮। **প্রতিসরণ-গুণাঙ্ক :**—কোন আলোকরশ্মি কোন মাধ্যম 'a' হইতে দ্বিতীয় কোন মাধ্যম 'b'তে গেলে আপতন-কোণের সাইন ও প্রতিসরণ-কোণের সাইনের অনুপাত ধ্রুব হইবে। এই ধ্রুব রাশিটির মান কেবলমাত্র আলোকের রং এবং মাধ্যমযুগলের প্রকৃতির উপর নির্ভর করিবে, আপতন-কোণের মানের উপর নির্ভর করিবে না। এই ধ্রুব রাশিটিকে 'a' মাধ্যমের তুলনায় 'b' মাধ্যমের **প্রতিসরণ-গুণাঙ্ক** বলা হয়। প্রতিসরণ-গুণাঙ্ককে গ্রীক অক্ষর μ (মিউ)-র দ্বারা সাধারণতঃ সূচিত করা হয়। 'a' মাধ্যমের তুলনায় 'b' মাধ্যমের প্রতিসরণ-গুণাঙ্ক বুঝাইবার জন্য ${}^a\mu_b$ বা μ_b^a প্রতীক ব্যবহার করা হয়। মনে কর, কোন আলোকরশ্মির i হইল আপতন-কোণ এবং r প্রতিসরণ-কোণ। তাহা হইলে, যে-কোন নির্দিষ্ট রংএর আলোকের বেলা দুইটি নির্দিষ্ট মাধ্যমের ক্ষেত্রে, $\mu = \dfrac{\sin i}{\sin r}$। তাহা হইলে, দৃষ্টান্ত স্বরূপ, আলোক বায়ুর (air) মধ্য দিয়া যাইতে যাইতে কাঁচের (glass) মধ্যে প্রতিসৃত হইলে, ঘটনাটিকে প্রতীকচিহ্ন ${}^a\mu_g = \dfrac{\sin i}{\sin r}$ দ্বারা সূচিত করা যাইবে।

পরম প্রতিসরণ-গুণাঙ্ক.—কোন রশ্মি যদি শূন্য স্থানের মধ্য দিয়া যাইতে যাইতে কোন পদার্থমাধ্যমের মধ্যে প্রতিসৃত হয় তাহা হইলে ঐরূপ ক্ষেত্রে প্রতিসরণ-গুণাঙ্ককে ঐ পদার্থের পরম প্রতিসরণ-গুণাঙ্ক বলা হয়। অন্য কিছু না বলিয়া প্রতিসরণ-গুণাঙ্কের বিষয় উল্লেখ করা হইলে উহাকে বায়ুর তুলনায় প্রতিসরণ-গুণাঙ্ক বলিয়া বুঝিতে হইবে।

যে-কোন নির্দিষ্ট রংএর আলোর জন্য কোন মাধ্যমের প্রতিসরণ-গুণাঙ্কের মান ধ্রুব হইবে। ভিন্ন রংএর আলোর অর্থ ভিন্ন তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোকতরঙ্গ। তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য বাড়িলে প্রতিসরণ-গুণাঙ্কের মান কমে, তরঙ্গদৈর্ঘ্য কমিলে প্রতিসরণ-গুণাঙ্কের মান বাড়ে। যে-কোন মাধ্যমের জন্যই লাল আলোর বেলা প্রতিসরণ গুণাঙ্ক ছোট হইবে, বেগুনী আলোর জন্য ইহা বড় হইবে। যে-কোন মাধ্যমযুগলের ক্ষেত্রে চক্ষুগোচর সকল রংএর আলোর প্রতিসরণ-গুণাঙ্ক লইয়া উহাদের গড় বাহির করিলে ঐ গড়ের মান হলুদ রংএর আলোর জন্য যে গুণাঙ্ক হয় তাহার সমান হয়। এই কারণে হলুদ রংকে দৃশ্য আলোকের মধ্যম রং (mean colour) বলা হয়। প্রতিসরণ-গুণাঙ্কের সহিত আলোর রং উল্লেখ করা না থাকিলে তোমারা উহাকে এই মধ্যম রং হলুদ রংএর জন্য ধরিয়া লইবে।

৩৯। আলোকের প্রতিসরণের কারণ।—আলোকের তরঙ্গবাদ অনুযায়ী,

$$ {}^{a}\mu_{b} = \frac{\text{'}a\text{' মাধ্যমে আলোকের গতিবেগ}}{\text{'}b\text{' মাধ্যমে আলোকের গতিবেগ}} = \frac{v_a}{v_b} \text{।} $$

(১) $v_a = v_b$ হইলে $\mu = 1$ হইবে; অথবা $\sin i = \sin r$, হইবে; অর্থাৎ $i = r$ হইবে। এক্ষেত্রে প্রতিসরণ ঘটিবে না, আলোকরশ্মি দিক্ পরিবর্তন না করিয়া আপন পথে অগ্রসর হইবে।

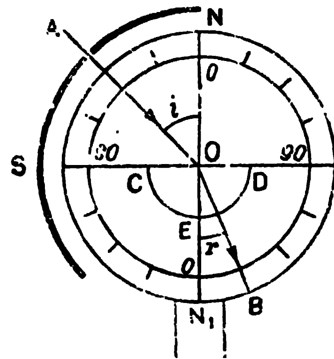
(২) দ্বিতীয় মাধ্যমে গতিবেগ কম হইলে, $\mu > 1$ হইবে। অর্থাৎ, $\sin i > \sin r$; অথবা, $i > r$ হইবে। অতএব প্রতিসৃত রশ্মি লম্বের দিকে বেঁকিবে।

(৩) দ্বিতীয় মাধ্যমে আলোর গতিবেগ অধিক হইলে, $\mu < 1$ হইবে। অর্থাৎ, $\sin i < \sin r$; অথবা, $i < r$ হইবে। এক্ষেত্রে প্রতিসৃত রশ্মি বেঁকিয়া লম্ব হইতে দূরে সরিয়া যাইবে।

এই সকল ঘটনা পরীক্ষার সাহায্যে সত্য বলিয়া প্রমাণিত হইয়াছে। অতএব একথা গ্রহণ করা যাইতে পারে যে, বিভিন্ন মাধ্যমে আলোকের গতিবেগ বিভিন্ন হওয়ায় আলোর প্রতিসরণ ঘটে।

৪০। প্রতিসরণের সূত্রাবলীর সত্যতা পরীক্ষা করা :—

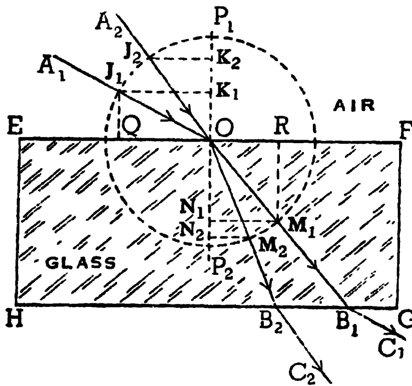
(ক) হার্ট্ল-এর আলোক-চাকৃতির সাহায্যে।—চিত্র ৩২ দেখ। CED একটির কাঁচের গোলকের একটি কোয়াড্রেন্ট (নিয়মিত চতুর্থাংশ)। ইহার এক সমতল পৃষ্ঠ (COD) চাকৃতির $90^\circ - 90^\circ$ লাইনের উপর চাকৃতিটির পৃষ্ঠে খাড়া ভাবে রাখা হয় এবং CODর কেন্দ্র (O) $0^\circ - 0^\circ$ লাইনের উপর রাখা হয়। পার্শ্বের স্ক্রীণ Sএর রন্ধ্র ছোট করিয়া একটি আলোক পেন্সিল (AO) চাকৃতি-পৃষ্ঠ ঘেঁষিয়া COD খাড়া পৃষ্ঠের O বিন্দুতে আপতিত হইতে দাও। এই আলোক-পেন্সিল COD পৃষ্ঠের উপর তির্যকভাবে ফেলিতে হইবে। প্রতিসৃত রশ্মি (OB) গোলকীয় পৃষ্ঠ CEDর উপর উল্লম্বভাবে পতিত হওয়ায় উহা না বেঁকিয়া সোজা বাহির হইয়া যায়। আপতন-কোণ ($\angle AON$) এবং প্রতিসরণ-কোণ ($\angle BON_1$)



চিত্র ৩২

চাকতির স্কেল হইতে সরাসরি নির্ণয় কর। চাকতিখানিকে সামান্য ঘুরাইয়া আপতন-কোণ কিছুটা পরিবর্তন কর এবং পুনরায় আপতন-কোণ ও প্রতিসরণ-কোণের পাঠ নাও। এইভাবে বিভিন্ন আপতন-কোণ এবং সম্বন্ধীয় প্রতিসরণ-কোণগুলি নির্ণয় কর। দেখিবে যে প্রতিক্ষেত্রেই, $\frac{\text{আপতন-কোণের সাইন}}{\text{প্রতিসরণ-কোণের সাইন}}$, অনুপাতটি একই হইবে। ইহাতে স্নেলের সূত্রের সত্যতা নিরূপিত হয় এবং আপতিত রশ্মি, অভিলম্ব ও প্রতিসৃত রশ্মি চাকতির একই পৃষ্ঠে, অর্থাৎ একই সমতলে, থাকে বলিয়া প্রতিসরণের প্রথম সূত্রও সত্য বলিয়া প্রমাণিত হয়।

(খ) পিন-পদ্ধতি।—ড্রইং বোর্ডের উপর একখানি সাদা কাগজ পিন দিয়া আঁটিয়া দাও। ইহার মধ্যস্থলে একটি আয়তক্ষেত্রাকার কাঁচের স্ল্যাব ($EFGH$) বসাও (চিত্র ৩৩)। একটি পেন্সিল দ্বারা ইহার চারিধারের সীমানা চিহ্নিত কর। EF রেখার মধ্যস্থলে O বিন্দুতে একটি চুলের কাঁটা স্ল্যাবটির গা ঘেঁষিয়া খাড়া করিয়া বসাইয়া দাও। কিছু দূরে কাগজের উপর আর-একটি পিন (A_1) খাড়া করিয়া পুঁতিয়া দাও। পিন A_1 এমনভাবে বসাইতে হইবে যাহাতে A_1O লাইন EFএর সহিত তির্যক্‌ভাবে হয়। এই পিনদুইটির দ্বারা একটি আপতন-রশ্মি নির্দিষ্ট করা



চিত্র ৩৩

হইল। এখন HG পৃষ্ঠের দিক হইতে স্ল্যাবের মধ্য দিয়া O এবং A_1 পিনদুইটির দিকে তাকাও এবং পরপর আরও দুইটি পিন (B_1 ও C_1) এই ধারে এমনভাবে বসাও যাহাতে B_1 পিন HG ধারের সঙ্গে থাকে এবং B_1 ও C_1 পিনদুইটি এবং A_1 ও Oর প্রতিবিম্ব-দুইটি একই সরলরেখা বরাবর থাকে। বার বার চেষ্টা করিয়া লম্বনভুল রহিত করিয়া ইহা করিতে হইবে। পিন O একই অবস্থায় রাখিয়া পূর্বোক্ত পদ্ধতিতে স্বতন্ত্র স্থানে পিন (A_2) পুঁতিয়া দ্বিতীয় আর-একটি আপতন-রশ্মি নির্দিষ্ট কর এবং এই রশ্মিটিও যেন EF পৃষ্ঠের সহিত তির্যকভাবে হয়। তারপর পূর্বোক্ত প্রথায় B_1C_1এর অনুরূপভাবে B_2 এবং C_2 পিন এমনভাবে বসাও যাহাতে B_2 এবং C_2 পিনদ্বয় এবং

A_2 ও Oর প্রতিবিম্ব-দুইটি একই সরলরেখায় দেখা যায়। তারপর, স্ল্যাব সরাইয়া A_1O, B_1C_1 ও OB_1, সরলরেখাগুলি টান এবং O বিন্দুতে EFএর উপরে P_1OP_2 অভিলম্ব অংকিত কর। অনুরূপভাবে A_2O, B_2C_2 এবং OB_2 সরল-রেখাগুলিও টান।

$\angle A_1OP_1$ হইল প্রথম রশ্মির আপতন-কোণ এবং $\angle B_1OP_2$ উহার প্রতিসরণ-কোণ। কোণদুইটি মাপ এবং ইহাদের সাইন (sine) নির্ণয় কর। তাহা হইলে বায়ুর তুলনায় কাঁচের প্রতিসরণ-গুণাঙ্ক ${}^a\mu_g = \dfrac{\sin A_1OP_1}{\sin B_1OP_2}$ হইবে। এইভাবে $\dfrac{\sin A_2OP_1}{\sin B_2OP_2}$ ও নির্ণয় কর। দুইটি বিভিন্ন আপতন-কোণের সাহায্যে প্রাপ্ত দুইটি ${}^a\mu_g$ পরস্পরের সমান হইলে স্নেলের সূত্রের সত্যতা প্রমাণ হইবে। তৃতীয় আরও একটি আপতন-রশ্মি লইয়া এই পরীক্ষাটি চালান উচিত।

Log table-এর সাহায্যে।—Oকে কেন্দ্র করিয়া OP_1 ($<EH$) ব্যাসার্ধ লইয়া একটি বৃত্ত অংকিত কর। এই বৃত্ত A_1O, A_2O, B_1O এবং B_2Oকে যথাক্রমে J_1, J_2, M_1 এবং M_2তে ছেদ করে। J_1, J_2, M_1, ও M_2 হইতে P_1OP_2র উপর যথাক্রমে J_1K_1, J_2K_2, M_1N_1 এবং M_2N_2 উল্লম্ব অংকিত কর।

তাহা হইলে, ${}^a\mu_g = \dfrac{\sin A_1OP_1}{B\sin_1 OP_2} = \dfrac{J_1K_1/OJ_1}{M_1N_1/OM_1} = \dfrac{J_1K_1}{M_1N_1}$, [OJ_1 ও OM_1 একই বৃত্তের ব্যাসার্ধ বলিয়া একে অন্যের সমান]।

অনুরূপভাবে, ${}^a\mu_g = \dfrac{\sin A_2OP_1}{\sin B_2OP_2} = \dfrac{J_2K_2/OJ_2}{M_2N_2/OM_2} = \dfrac{J_2K_2}{M_2N_2}$ ।

একখানি মি.মি. স্কেল দিয়া J_1K_1, J_2K_2, M_1N_1 ও M_2N_2 দৈর্ঘ্যগুলি মাপিয়া লও।

এখন, $\dfrac{J_1K_1}{M_1N_1} = \dfrac{J_2K_2}{M_2N_2}$ হইলে স্নেলের সূত্রের সত্যতা প্রমাণিত হইবে।

এই পরীক্ষায় A_1, O, B_1 ও C_1 পিনের পাদবিন্দু একই সরলরেখায় আছে কি-না কার্যতঃ তাহাই দেখা হয়। এই সকল পাদবিন্দুর মধ্য দিয়া আপতিত রশ্মি A_1O,

প্রতিসৃত রশ্মি OB_1, এবং অভিলম্ব P_1P_2 কাগজের পৃষ্ঠে অর্থাৎ একই সমতলে থাকে। অতএব প্রতিসরণের প্রথম সূত্রেরও সত্যতা প্রমাণিত হয়।

৪১। জ্যামিতিক অংকনের সাহায্যে প্রতিসৃত রশ্মি নির্ণয় করা :— মনে কর যে, বায়ুর তুলনায় কোন পদার্থের প্রতিসরণ-গুণাঙ্ক 1·5। তাহা হইলে, প্রশ্নটি এই যে, আপতিত রশ্মি কোন নির্দিষ্ট দিকে ধরিয়া লইয়া এই পদার্থমাধ্যমের মধ্যে প্রতিসৃত রশ্মির দিক্ নির্ণয় করিতে হইবে।

চিত্র ৮৩ দেখ : A_1O রশ্মি EF পৃষ্ঠের উপর আপতিত হইতেছে। আপতন-কোণ $\angle A_1OP_1 = i$, ধরা যাক্। পদার্থ মাধ্যমদুইটির সীমারেখা EFএর উপর আপতন-বিন্দু Oতে P_1OP_2 অভিলম্ব আঁক। OE ও OF হইতে OQ ও OR এমনভাবে যথাক্রমে কাটিয়া লও যাহাতে ইহাদের অনুপাত 1·5 : 1 হয়। Qতে EFএর উপর একটি অভিলম্ব আঁক। ইহা A_1Oকে J_1এ ছেদ করে। O-কে কেন্দ্র করিয়া OJ_1 ব্যাসার্ধ লইয়া একটি বৃত্ত আঁক। R-বিন্দুতে EFএর উপর আর-একটি অভিলম্ব আঁক। ইহা বৃত্তটিকে M_1এ ছেদ করিল। O এবং M_1 যুক্ত কর এবং ঐ রেখাকে বর্ধিত করিয়া মাধ্যমটির অপর সীমানারেখা HG পর্যন্ত পৌঁছাও। মনে কর, এই রেখাটি HGতে B_1 বিন্দুতে মিলিল। অতএব A_1O আপতিত রশ্মি হইলে $EFGH$ স্ল্যাবের মধ্য দিয়া প্রতিসৃত রশ্মি হইবে OB_1।

প্রমাণ :— J_1 হইতে P_1OP_2র উপর J_1K_1 উল্লম্ব টান। M_1 হইতে P_1OP_2র উপর M_1N_1 উল্লম্ব টান। এখন $\sin M_1ON_1 = \sin r = \dfrac{M_1N_1}{OM_1}$,

এবং $\sin J_1OK_1 = \sin i = \dfrac{J_1K_1}{OJ_1} = \dfrac{J_1K_1}{OM_1}$, [যেহেতু OJ_1 ও OM_1 একই বৃত্তের ব্যাসার্ধ বলিয়া পরস্পরের সমান]।

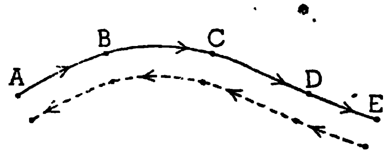
$$\therefore \quad \mu = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{J_1K_1/OM_1}{M_1N_1/OM_1} = \frac{J_1K_1}{M_1N_1} = \frac{OQ}{OR} = 1{\cdot}5 = \tfrac{3}{2}\,।$$

এখানে $\angle i$ = আপতন-কোণ ($\angle A_1OP_1$)। অতএব, $\angle r$ ($= \angle B_1OP_2$) প্রতিসরণ-কোণ হইবে। অর্থাৎ A_1O আপতিত-রশ্মি হইলে OB_2 প্রতিসৃত রশ্মি হইবে।

৪২। আলোকরশ্মি বিপরীত দিকে যাত্রা করিলে পূর্ব পথেই ফিরিয়া আসে (Path of light is reversible) :—প্রতিফলন বা প্রতিসরণের বেলা

আলোকরশ্মি ঠিক বিপরীতমুখী করিয়া দিলে উহা যে পথে আসিয়াছিল ঠিক ঐ পথেই ফিরিয়া যাইবে।

চিত্র ৩৪ দেখ। মনে কর, কোন রশ্মি A-বিন্দু হইতে যাত্রা করিয়া প্রতিফলন ও প্রতিসরণের সাহায্যে B, C, D ও E'র মধ্য দিয়া অগ্রসর হইল। ফারমাটের হ্রস্বতমপথের নীতি অনুযায়ী, A হইতে E পর্যন্ত পথই হইল হ্রস্বতম। অতএব বিপরীত দিকে E হইতে আলোকরশ্মি যাত্রা করিলে উহাও হ্রস্বতম পথ $EDCBA$ পথে ফিরিবে।



চিত্র ৩৪

✓ ৪৩। **প্রমাণ কর যে,** $^{b}\mu_a = \frac{1}{^{a}\mu_b}$ -এখানে প্রমাণ করিতে হইবে যে, 'b' মাধ্যমের তুলনায় 'a' মাধ্যমের প্রতিসরণ-গুণাঙ্ক যাহা হইবে, 'a' মাধ্যমের তুলনায় 'b' মাধ্যমের প্রতিসরণ-গুণাঙ্ক উহার বিপরীত (reciprocal) হইবে।

চিত্র ৩১ দেখ। AO রশ্মি মাধ্যম 1 (বা 'a')-র ভিতর দিয়া যাইতে যাইতে EF সীমানায় পৌছিবার পর মাধ্যম 2 (বা 'b')র ভিতরে OB পথে প্রতিসৃত হইয়াছে। (ফারমাটের হ্রস্বতম পথের নীতিতে) আলো বিপরীতমুখী হইলে আপন পথে প্রত্যাগমন করে বলিয়া, 'b' মাধ্যমের মধ্য দিয়া BO দিকে আলোকরশ্মি যাত্রা করিলে উহা OA পথে 'a' মাধ্যমের মধ্যে প্রতিসৃত হইবে।

$$\therefore \quad ^{a}\mu_b = \frac{\sin i}{\sin r}, \text{ এবং } ^{b}\mu_a = \frac{\sin r}{\sin i} = \frac{1}{\sin i/\sin r} = \frac{1}{^{a}\mu_b} \quad \cdots \quad (১)$$

Examples

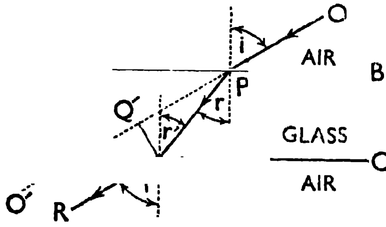
1. $^{air}\mu_{glass} = 1{\cdot}5$. *Find* $^{glass}\mu_{air}$.

উত্তর : $^{বায়ু}\mu_{কাচ} = 1{\cdot}5$. $\therefore$ $^{কাচ}\mu_{বায়ু} = \frac{1}{1{\cdot}5} = 0{\cdot}67$.

2. $^{air}\mu_{water} = 1{\cdot}33$. *Find* $^{water}\mu_{air}$.

উত্তর : $^{বায়ু}\mu_{জল} = 1{\cdot}33$. $\therefore$ $^{জল}\mu_{বায়ু} = \frac{1}{1{\cdot}33} = 0{\cdot}75$.

৪৪। সমান্তরাল তলবিশিষ্ট কোন স্বচ্ছ ব্লকের এক পৃষ্ঠের উপর আলোকরশ্মি পতিত হইলে বিপরীত পৃষ্ঠে প্রতিসরণের পর ঐ আলোক-রশ্মি আপতনদিকের সমান্তরাল দিকে বহির্গত হয়, কিন্তু পার্শ্ব দিকে কিছুটা সরিয়া যায় :—চিত্র ৩৫ দেখ। AB ও DC একটি স্বচ্ছ ব্লকের (কাঁচের মনে করা যাক্) দুইটি সমান্তরাল ধার। OP একটি তির্যক্ আপতিত রশ্মি, ইহার জন্য ব্লকের মধ্য দিয়া প্রতিসৃত রশ্মি হইল PQ এবং QR হইল ব্লক হইতে বহির্গত (emergent) রশ্মি। আলোকরশ্মিটি বায়ুর মধ্য দিয়া যাইতে যাইতে কাঁচের প্রথম ধারে প্রতিসৃত হইয়াছে, এবং বিপরীত ধারে আবার প্রতিসৃত হইয়া ঐ দিকের বায়ুতে বাহির হইয়া গিয়াছে। প্রথম ধারে, আপতন-কোণ $= i$ এবং প্রতিসরণ-কোণ $= r$। মনে কর যে, দ্বিতীয় ধারে, আপতন-কোণ $= r'$ এবং বহির্গমন-কোণ $= i'$।



চিত্র ৩৫

প্রমাণ :— $^{\text{বায়ু}}\mu_{\text{কাঁচ}} = \dfrac{\sin i}{\sin r}$ এবং $^{\text{কাঁচ}}\mu = \dfrac{\sin r'}{\sin i'}$

কিন্তু, $^{\text{বায়ু}}\mu_{\text{কাঁচ}} = \dfrac{1}{^{\text{কাঁচ}}\mu_{\text{বায়ু}}}$। সুতরাং, $\dfrac{\sin i}{\sin r} = \dfrac{1}{\dfrac{\sin r'}{\sin i'}} = \dfrac{\sin i'}{\sin r'}$।

AB ও DC সমান্তরাল বলিয়া, $r = r'$ সুতরাং, $i = i'$। তাহা হইলে, QR ও OP পরস্পর সমান্তরাল হইবে।

বিশেষ ক্ষেত্র : OP রশ্মি AB তলের উপর উল্লম্বভাবে আপতিত হইলে $\angle i = 0°$ হইবে। এইক্ষেত্রে,

$\dfrac{\sin 0}{\sin r} = \dfrac{0}{\sin r} = {^a\mu_g}$; অথবা, ${^a\mu_g} \times \sin r = 0 \quad \therefore \angle r = 0°$, কারণ ${^a\mu_g}$ একটি ধ্রুব সংখ্যা। অতএব এক্ষেত্রে প্রতিসৃত রশ্মিও আপতনদিকের বরাবর চলিয়া যাইবে। অর্থাৎ, রশ্মিটির এই ক্ষেত্রে ব্যত্যয় বা দিক্‌বিচ্যুতি ঘটিবে না, বা পার্শ্ব দিকেও ইহা সরিয়া যাইবে না।

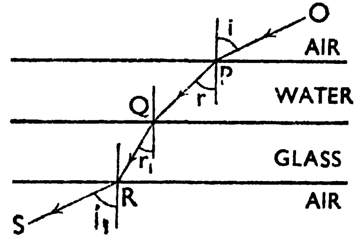
পার্শ্ব-সরণ (lateral displacement).—চিত্র ৩৫ হইতে বুঝা যাইতেছে যে, ব্লকের মধ্য দিয়া যাওয়ায় রশ্মি পার্শ্ব দিকে সরিয়া গিয়াছে। $OQ'O'$ হইল OPর নিজ

গতির দিক্। QR হইল ঐ রশ্মির ব্লক হইতে বহির্গমন-দিক্। Q হইতে $OPQ'O'$এর উপর উল্লম্ব (QQ') আঁক। তাহা হইলে, পার্শ্ব-সরণ $= QQ' = PQ \sin QPQ' = PQ \times \sin (i-r)$। এখন $\cos r = \frac{\text{ব্লকের বেধ}}{PQ}$; বা, $PQ = \frac{\text{ব্লকের বেধ}}{\cos r}$। ∴ পার্শ্ব-সরণ

$$= QQ' = PQ \sin (i-r) = \text{ব্লকের বেধ} \times \frac{\sin (i-r)}{\cos r} \quad \cdots \quad \cdots \quad (১)$$

সুতরাং, পার্শ্ব-সরণ, (১) ব্লকের বেধের সহিত আনুপাতিক, (২) আপতন-কোণের উপর নির্ভরশীল, (৩) প্রতিসরণ-গুণাঙ্কের উপর নির্ভরশীল (কারণ, $\angle i$ নির্দিষ্ট হইলে $\angle r$ এর মান প্রতিসরণ-গুণাঙ্ক μএর মানের উপর নির্ভর করিবে)।

৪৫। ভিন্ন ভিন্ন প্রতিসরণ-গুণাঙ্কের পর পর স্থাপিত কয়েকটি সমান্তরাল স্ল্যাবের মধ্য দিয়া আলোকরশ্মির প্রতিসরণ :—পূর্বের অনুচ্ছেদের সিদ্ধান্ত এক্ষেত্রও প্রযোজ্য হইবে। চিত্র ৩৬ দেখ। মনে কর, পর পর বায়ু, জল, কাঁচ, বায়ু এই চারিটি আলোকমাধ্যম সাজান আছে। ইহাদের সীমানাতলগুলি সব সমান্তরাল। মনে করা যাক, OP একটি আপতন-রশ্মি উহা বায়ু হইতে জলে প্রবেশের কালে প্রতিসৃত হইয়া PQ পথ ধরিল। জল হইতে কাঁচে প্রবেশ করিয়া প্রতিসরণের ফলে QR পথে চলিল। কাঁচ হইতে বায়ুতে বাহির হইয়া এবার RS পথ ধরিল। পরীক্ষার সাহায্যে দেখা গিয়াছে যে (প্রথম ও শেষ মাধ্যম এক হইলে) OP ও RS পরস্পরের সমান্তরাল হয় (অর্থাৎ $i = i_1$)।



চিত্র ৩৬

এখন, $^{\text{বায়ু}}\mu_{\text{জল}} = {}^{a}\mu_{w} = \frac{\sin i}{\sin r}$; $^{\text{জল}}\mu_{\text{কাঁচ}} = {}^{w}\mu_{g} = \frac{\sin r}{\sin r_1}$; $^{\text{কাঁচ}}\mu_{\text{বায়ু}} = {}^{g}\mu_{a} = \frac{\sin r_1}{\sin i_1}$

$$\therefore \quad {}^{a}\mu_{w} \times {}^{w}\mu_{g} \times {}^{g}\mu_{a} = \frac{\sin i}{\sin r} \times \frac{\sin r}{\sin r_1} \times \frac{\sin r_1}{\sin i_1} = 1 \quad \cdots \quad (১)$$

সমান্তরাল সীমাতলবিশিষ্ট যে-কোন সংখ্যক পর পর সাজান আলোকমাধ্যম সম্বন্ধেই এই নিয়ম খাটে।

Example

Refractive index of water relative to air is 4/3, and that of glass relative to air is 3/2. Find R. I. of glass relative to water.

উত্তর ঃ এখানে, ${}^a\mu_w = \frac{4}{3}$ এবং ${}^a\mu_g = \frac{3}{2}$ । $\therefore$ ${}^w\mu_g = \mu_{\text{কাঁচ}} = \frac{1}{{}^a\mu_w \times {}^g\mu_a}$ [সমীকরণ (১) অনুযায়ী] $= \frac{{}^a\mu_g}{{}^a\mu_w} = \frac{\frac{3}{2}}{\frac{4}{3}} = \frac{9}{8}$ ।

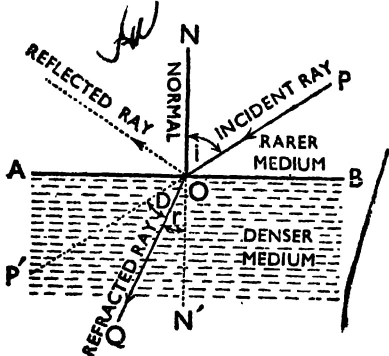
অনুচ্ছেদ ৪৫এর অনুসিদ্ধান্ত (Corollary)—

সমীকরণ (১) হইতে, ${}^{\text{vacuum}}\mu_w \times {}^w\mu_g \times {}^{\text{glass}}\mu_{\text{vacuum}} = 1$ ।

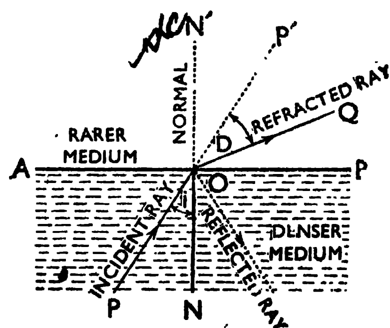
$\therefore \quad {}^w\mu_g = \frac{1}{\mu_w \times \frac{1}{\mu_g}} = \frac{\mu_g}{\mu_w}$, [এখানে μ_g ও μ_w যথাক্রমে কাঁচ ও জলের পরম প্রতিসরণ-গুণাঙ্ক]। w ও gর বদলে আরও সাধারণ চিহ্ন 1 ও 2 ব্যবহার করিলে, ${}^1\mu_2 = \frac{\mu_2}{\mu_1}$ হইবে। কিন্তু ${}^1\mu_2 = \frac{\sin i}{\sin r}$ [i হইল মাধ্যম 1এ কোণ এবং r মাধ্যম 2এ কোণ]। $\therefore \quad {}^1\mu_2 = \frac{\mu_2}{\mu_1} = \frac{\sin i}{\sin r}$; বা, $\mu_1 \sin i = \mu_2 \sin r$ ... (২)

৪৬। প্রতিসৃত রশ্মির ব্যত্যয় বা দিক্‌বিচ্যুতি ঃ—আপতিত ও প্রতিসৃত রশ্মি, পরস্পরের সহিত যে কোণ করে উহা দ্বারাই প্রতিসৃত রশ্মির দিক্‌বিচ্যুতি মাপা হয়।

(১) **লঘু মাধ্যম হইতে ঘনতর মাধ্যমে রশ্মি গেলে** [চিত্রে ৩৭, (a)].—PO আপতিত রশ্মি, POP' ইহার মূল দিক্। OQ প্রতিসৃত রশ্মি। NON' হইল আপতন-বিন্দুতে সীমাতলের উপর অংকিত লম্ব। দিক্‌বিচ্যুতি লম্বের দিকে এবং



(a)



(b)

চিত্র ৩৭

ইহার পরিমাণ= $\angle P'OQ = \angle P'ON' - \angle QON' = \angle PON - \angle QON' = \angle(i-r)$।

(২) **ঘন মাধ্যম হইতে লঘুতর মাধ্যমে রশ্মি গেলে** [চিত্র ৩৭, (b)].— এখানে, দিক্‌বিচ্যুতি লম্বের প্রতিমুখী এবং ইহার পরিমাণ = $\angle P'OQ = \angle QON' - \angle P'ON' = \angle QON' - \angle PON = \angle(r-i)$।

(৩) **প্রতিসরণ-ক্রিয়াতে আপতন-কোণ বাড়িলে রশ্মির দিক্‌বিচ্যুতি বাড়িয়া যায়।—**

প্রমাণ ঃ—$\sin i = \mu \sin r$, (স্নেলের সূত্র)। $\therefore \ \sin i - \sin r = \mu \sin r - \sin r = (\mu - 1)\sin r$,

বা, $2 \sin \frac{(i-r)}{2} \times \cos \frac{(i+r)}{2} = (\mu - 1) \sin r$।

দিক্‌বিচ্যুতি, $\angle D = (i - r)$, বলিয়া, $2 \sin \frac{D}{2} = \frac{(\mu - 1)\sin r}{\cos\left(\frac{i+r}{2}\right)}$ ... (১)

এখন, i বাড়িলে r বাড়িবে, অর্থাৎ $\sin r$ বাড়িবে, কিন্তু $\cos\left(\frac{i+r}{2}\right)$ কমিবে।

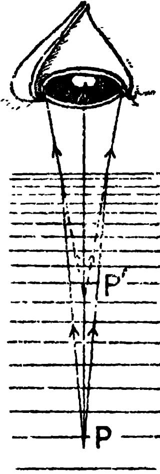
ফলে, সমীকরণ (১) হইতে বুঝা যাইতেছে যে, i বাড়িলে $\sin \frac{D}{2}$ বাড়িবে, অর্থাৎ দিক্‌বিচ্যুতি (D) বাড়িবে।

বিশেষ ক্ষেত্রে ঃ (ক) $i = 0^\circ$ হইলে (আপতন লম্বভাবে হইলে), $r = 0^\circ$ হইবে। $\therefore \ D = i - r = 0^\circ - 0^\circ = 0$ হইবে। এক্ষেত্রে, রশ্মি সোজা বাহির হইয়া যাইবে, উহার কোন দিক্‌বিচ্যুতি ঘটিবে না।

(খ) $i = 90^\circ$ (সর্বোচ্চ) হইলে, r সর্বোচ্চ এবং $\sin r$ সর্বোচ্চ হইবে। এই অবস্থায় $\left(\frac{i+r}{2}\right)$ সর্বোচ্চ হইবে, অর্থাৎ $\cos\left(\frac{i+r}{2}\right)$ সর্বনিম্ন হইবে। অতএব এই অবস্থায় সমীকরণ (১) এর ডান দিকের রাশি সর্বোচ্চ হইবে। অর্থাৎ, $2 \sin \frac{D}{2}$ সর্বোচ্চ হইবে, অথবা দিক্‌বিচ্যুতি D সর্বোচ্চ হইবে।

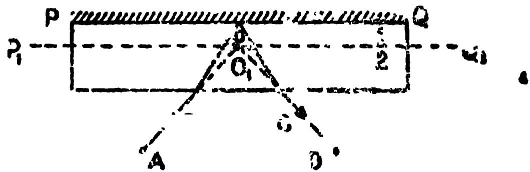
৪৭। প্রতিসরণের কয়েকটি উল্লেখযোগ্য ঘটনাঃ—

(১) **ঘন মাধ্যমের মধ্যস্থ কোন বস্তু লঘুতর মাধ্যম হইতে দেখা হইলে বস্তুটি উপরে উঠিয়া আছে বলিয়া বোধ হইবে।**—চিত্র ৩৮ দেখ। জলের মধ্যে P একটি বস্তু। P হইতে অপসারী এক সরু আলোকরশ্মিগুচ্ছ বিবেচনা করা যাক্। ঐ রশ্মিগুলি জল ও বায়ুর সীমানায় আসিয়া প্রতিসৃত হইয়া বায়ুর মধ্যে প্রবেশ করিবে। ঘনতর মাধ্যম হইতে লঘুতর মাধ্যমে প্রতিসৃত হওয়ার ফলে রশ্মিগুলি আপতন-বিন্দুতে লম্বের প্রতিমুখে দিক্‌বিচ্যুত হইবে এবং আলোকরশ্মিগুচ্ছটি পূর্বাপেক্ষা অধিক অপসারী হইয়া চক্ষে উপনীত হইবে। ফলে মনে হইবে যে, রশ্মিগুচ্ছ নিকটতর কোন বিন্দু P' (যেখানে ঐ বহির্গামী অপসারী রশ্মিগুচ্ছের অবাস্তব মিলনবিন্দু) হইতে বাহির হইতেছে। এইজন্য P বিন্দু P'এ উঠিয়া আসিয়াছে বলিয়া বোধ হইবে।



চিত্র ৩৮

(২) **পশ্চাতে পারদমণ্ডিত সমতল দর্পণের আপাত বেধ।**—চিত্র ৩৯-এ PQ একখানি পুরু সমতল দর্পণ। ইহার পশ্চাৎ পৃষ্ঠ PQ পারদমণ্ডিত আছে। কোন তির্যক্ রশ্মি AB দর্পণের উপরিপৃষ্ঠের উপর আপতিত হইলে ইহার



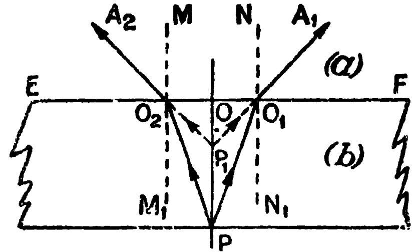
চিত্র ৩৯

অল্পই প্রতিফলিত হয়, অধিকাংশই প্রতিসৃত হইয়া দর্পণের মধ্যে প্রবেশ করে। এই প্রতিসৃত রশ্মি দর্পণের প্রতিফলন-পৃষ্ঠ PQর উপর O বিন্দুতে আপতিত হয়। O হইতে প্রতিফলিত হইয়া উহা আবার দর্পণের উপরিপৃষ্ঠে আসিয়া উপস্থিত হয় এবং পুনরায় প্রতিসৃত হইয়া CD পথে বায়ুতে প্রবেশ করে। ধরা যাক্ AB ও CD অভিসারী দিকে বর্ধিত করিলে O_1 বিন্দুতে (Oএর পরিবর্তে)

মিলিত হয়; অর্থাৎ, প্রকৃত প্রতিফলন-বিন্দু O হইলেও অসদ্-প্রতিফলন বিন্দু হইল O_1। O হইতে O_1 দর্পণের উপরিপৃষ্ঠের নিকটতর। এইজন্য আপাত-প্রতিফলন তল হইবে $P_1O_1Q_1$। উপরিপৃষ্ঠ হইতে $P_1O_1Q_1$ পর্যন্ত বেধকে দর্পণের আপাত বেধ বলা হয়। প্রমাণ করা যায় যে, $\frac{\text{কাঁচের দর্পণের প্রকৃত বেধ}}{\text{উহার আপাত বেধ}} = {}^{\text{বায়ু}}\mu_{\text{কাঁচ}} = 1{\cdot}5 = \frac{3}{2}$;

অর্থাৎ, আপাত বেধ প্রকৃত বেধের দুই-তৃতীয়াংশ।

ঘনতর মাধ্যমের মধ্যে রক্ষিত বস্তুর আপাত গভীরতার (লঘুতর মাধ্যম হইতে দেখিলে) আংকিক হিসাব.—চিত্র ৪০ দেখ। 'a' ও 'b' এই মাধ্যমের আন্তঃতল EF রেখা দ্বারা সূচিত হইয়াছে। ঘনতর মাধ্যম 'b'র মধ্যে রক্ষিত P একটি বিন্দুবৎ বস্তু। ইহাকে 'a' মাধ্যমে হইতে দেখা হইতেছে। P হইতে PO রশ্মি (EFএর উপর উল্লম্বভাবে আছে) সোজাসুজি 'a' মাধ্যমে প্রবেশ করিবে। PO_1 রশ্মি তির্যকভাবে EFএর উপর পতিত হইয়াছে। ইহা 'a' মাধ্যমে লম্ব হইতে দূরে সরিয়া O_1A_1 পথ লইবে। POর সহিত PO_1এর বিপরীত দিকে সমানভাবে হেলানো একটি রশ্মি (PO_2) 'a' মাধ্যমে প্রবেশ করিয়া অনুরূপভাবে লম্ব হইতে দূরে সরিয়া O_2A_2 পথ লইবে। A_2O_2 (বর্ধিত), A_1O_1 (বর্ধিত) এবং PO, একই বিন্দু P_1এ পরস্পরকে ছেদ করে। অতএব 'a' মাধ্যম হইতে দেখিলে P বিন্দু P_1এ উন্নীত হইয়াছে বলিয়া বোধ হইবে। O_1 এবং O_2তে EF পৃষ্ঠের উপর যথাক্রমে NO_1N_1, MO_2M_1 লম্ব টান। মনে কর, $\angle PO_1N_1 = \angle i = \angle PO_2M_1$; তাহা হইলে, $\angle A_1O_1N = \angle r = \angle A_2O_2M$, কারণ উভয় ক্ষেত্রেই প্রতিসরণ-গুণাঙ্ক এক। $\angle O_2PO = \angle PO_2M_1$, (MM_1 এবং PO সমান্তরাল বলিয়া)।



চিত্র ৪০

$\therefore\ \sin \angle O_2PO = \sin i = \frac{OO_2}{PO_2} = \frac{OO_2}{PO}$, (প্রায়); কারণ O এবং O_2 খুব নিকট বিন্দু। ঐরূপ না হইলে বহির্গত রশ্মিগুচ্ছ চক্ষুতে পৌছিবে না।

আবার, $\angle O_2P_1O = \angle M_1O_2P_1 = \angle A_2O_2M = \angle r$ ।

$\therefore \sin O_2P_1O = \sin r = \frac{OO_2}{P_1O_2} = \frac{OO_2}{P_1O}$, (প্রায়) (ঐ একই কারণে)।

$\therefore \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{1}{{}^a\mu_b} = \frac{OO_2}{PO} \Big/ \frac{OO_2}{P_1O} = \frac{P_1O}{PO}$. $\therefore {}^a\mu_b = \frac{PO}{P_1O}$

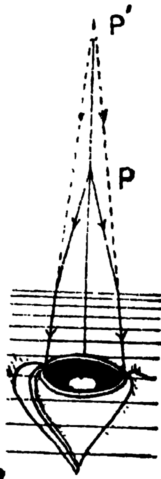
$\therefore \frac{PO}{P_1O} = \frac{\text{প্রকৃত গভীরতা}}{\text{আপাত গভীরতা}} = {}^a\mu_b$ * ... (১)

[মনে কর, 'b' মাধ্যম কাঁচের এবং 'a' মাধ্যম বায়ুর। তাহা হইলে. ${}^a\mu_b = {}^{\text{বায়ু}}\mu_{\text{কাঁচ}} = 1{\cdot}5$ ।

$\therefore$ আপাত গভীরতা $= \frac{\text{প্রকৃত গভীরতা}}{{}^a\mu_b} = \frac{\text{প্রকৃত গভীরতা}}{1{\cdot}5} = \frac{\text{প্রকৃত গভীরতা}}{3/2} = \frac{2}{3} \times$ (প্রকৃত গভীরতা)।

ঐভাবে বায়ু হইতে জলের মধ্যস্থ বস্তু দেখিলে আপাত গভীরতা $= \frac{3}{4} \times$ (প্রকৃত গভীরতা) হইবে,

কারণ ${}^a\mu_w = \frac{4}{3}$ ।]



চিত্র ৪১

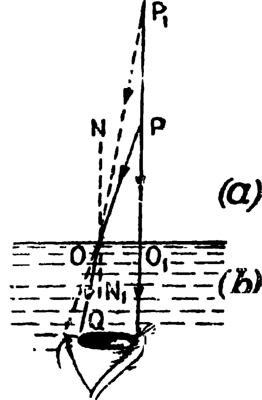
(২) **লঘুতর মাধ্যমে রক্ষিত বস্তু ঘনতর মাধ্যম হইতে দেখিলে.—**

চিত্র ৪১ দেখ ; P বস্তুটি লঘুতর মাধ্যমের মধ্যে (বায়ুতে) এবং চক্ষু ঘনতর মাধ্যমের মধ্যে (জলে) আছে। P হইতে অপসারী রশ্মিগুচ্ছ বায়ুর মধ্য দিয়া গিয়া জলে প্রবেশ করিলে রশ্মিগুলি লম্বের দিকে দিক্‌বিচ্যুত হওয়ার ফলে অপেক্ষাকৃত কম অপসারী হইয়া আসে। ফলে ইহারা P হইতে অধিক দূরবর্তী P' হইতে চোখে আসিতেছে বলিয়া বোধ হইবে (রশ্মিগুলিকে গতির বিপরীত দিকে বর্ধিত করিলে দেখা যাইবে

* প্রায় লম্ব আপতন না হইলে উপরোক্ত হিসাব সঠিক হইবে না। বস্তুটিকে খুব তির্যকভাবে দেখিলে ইহার আপাত-অবস্থানে আরও অধিক পরিবর্তন আসিবে।

ইহাদের ছেদবিন্দু P' হইবে P হইতে দূরবর্তী)। অতএব চক্ষুটি Pকে P'এ দেখিবে। অর্থাৎ, P' হইবে Pর অসদ্ প্রতিবিম্ব।

জলের মধ্য হইতে দেখিলে বায়ুতে স্থিত বস্তুর আপাত দূরত্বের আংকিক হিসাব।—চিত্র ৪২ দেখ। 'a' মাধ্যমে (লঘুতর) P বস্তু আছে। PO_1 রশ্মি মাধ্যমদ্বয়ের সীমাতলে উল্লম্বভাবে আপতিত হইয়া সোজাসুজি 'b' মাধ্যমে (ঘনতর) স্থিত চক্ষু Eতে পৌছাইতেছে। তির্যক্‌ভাবে আপতিত অন্য একটি রশ্মি (PO) বিবেচনা করা যাক্। ইহা 'b' মাধ্যমে OQ পথে প্রতিসৃত হইয়াছে। QO ও O_1P বর্ধিত করিলে P_1 বিন্দুতে পরস্পরকে ছেদ করে। অতএব আলোকরশ্মিসমূহ অসদ্ প্রতিবিম্ব P_1 হইতে আসিতেছে বলিয়া বোধ হইবে। NON_1 O-বিন্দুতে দুই মাধ্যমের আন্তঃতলের উপর অভিলম্ব, মনে কর।



চিত্র ৪২

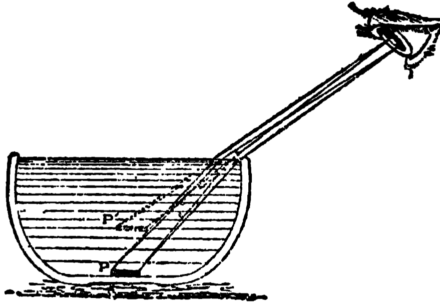
$${}^a\mu_b = \frac{\sin PON}{\sin QON_1} = \frac{\sin OPO_1}{\sin P_1ON},$$ (NN_1 এবং P_1O_1 সমান্তরাল বলিয়া) $= \frac{\sin OPO_1}{\sin OP_1O_1} = \frac{OO_1/OP}{OO_1/OP_1} = \frac{OP_1}{OP} = \frac{O_1P_1}{O_1P}$ (প্রায়), [O এবং O_1 বিন্দুদুইটি খুব নিকটবর্তী বলিয়া ; তাহা না হইলে রশ্মিদুইটি চক্ষুতে পৌছিবে না]।

$\therefore$ আপাত দূরত্ব $= O_1P_1 = {}^a\mu_b \times (O_1P) = {}^a\mu_b \times$ প্রকৃত দূরত্ব

$$= \left({}^{\text{বায়ু}}\mu_{\text{জল}}\right) \times (\text{প্রকৃত দূরত্ব}) \quad \cdots \quad \cdots \quad (১)$$

(৩) **মুদ্রা ও পাত্রের পরীক্ষা।**—চিত্র ৪৩ দেখ। একটি পাত্রের তলায় একটি মুদ্রা (P) রাখ। চোখ সরাইয়া এমন জায়গায় নাও যেন পাত্রের ধারের প্রতিবন্ধকতায় আলো রুদ্ধ হওয়াতে মুদ্রাটি দেখা না যায়। এখন পাত্রটি জল দ্বারা পূর্ণ করিলে চক্ষু ও মুদ্রার অবস্থান না বদলাইলেও মুদ্রাটি দৃষ্টিগোচর হইবে। ইহার কারণ কি? আলোর প্রতিসরণের জন্যই এইরূপ সম্ভব হয়। পাত্রের ধারের প্রতিবন্ধকতায় বায়ুতে

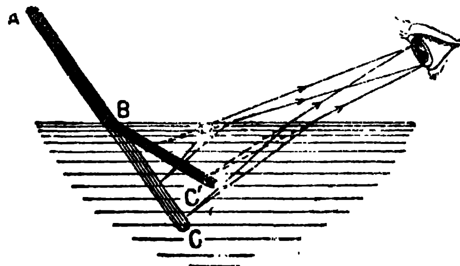
আলোকরশ্মি মুদ্রা হইতে সরলরেখায় সরাসরি চক্ষুতে পৌছিতে পারে নাই। জলপূর্ণ অবস্থায় ঐ রশ্মিগুলি জলপৃষ্ঠে প্রতিস্থত হইয়া জল ও বায়ুর সীমাতলে আপতনস্থানে লম্ব হইতে প্রতিমুখে বেঁকিয়া তৎপরে সরলরেখায় চক্ষুতে গিয়া উপনীত হয়। এইরূপে মুদ্রাটির প্রত্যেক বিন্দু হইতে এক অপসারী সরু রশ্মিগুচ্ছ চক্ষুতে পৌছে এবং চক্ষু ঐ বিন্দুটিকে দেখিতে পায়। এই অপসারীগুচ্ছের রশ্মিগুলিকে চক্ষুর সম্মুখ দিকে সরলরেখায় বর্ধিত করিলে উৎসবিন্দুর অবস্থান



চিত্র ৪৩

Pতে না হইয়া উহাদের অসদ্ মিলনবিন্দু P'এ মনে হইবে। অর্থাৎ চক্ষুটির নিকট মুদ্রা P উন্নীত অবস্থান P'এ মনে হইবে।

(৪) **আংশিকভাবে জলে প্রবিষ্ট একটি সোজা ডুবানো লাঠি জলের পৃষ্ঠে বেঁকিয়া যায় বলিয়া বোধ হয়।**—চিত্র ৪৪ দেখ। ABC একটি সোজা লাঠি। হেলানো অবস্থায় ইহাকে ধরিয়া ইহার নিম্নাংশ (C হইতে B পর্যন্ত) জলে নিমজ্জিত করা হইয়াছে। জলের উপর হইতে দেখিলে জলে নিমজ্জিত অংশ CB বায়ুর অংশ ABর সহিত এক সরলরেখায় না থাকিয়া জলপৃষ্ঠ Bতে বেঁকিয়া খানিকটা উপরের দিকে উঠিয়া আছে



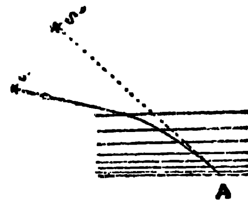
চিত্র ৪৪

বলিয়া বোধ হইবে। ইহার ব্যাখ্যা দেওয়া হইতেছে। জলে নিমজ্জিত অংশের যে-কোন বিন্দু হইতে যে আলোকরশ্মিগুলি চক্ষুতে পৌছে এবং বিন্দুটি দৃষ্টিগোচর করায় উহারা জলপৃষ্ঠে প্রতিস্থত হইয়া চক্ষুতে পৌছে। জলে আপতন-কোণ বায়ুতে প্রতিসরণ-কোণ অপেক্ষা কম (বায়ু জল অপেক্ষা লঘুতর) বলিয়া প্রতি বিন্দুই প্রকৃত

অবস্থানে আছে মনে না হইয়া কিছুটা উন্নীত অবস্থানে দেখা যাইবে। বায়ু হইতে প্রায় লম্বভাবে দেখিলে প্রতি বিন্দুর উত্থানের পরিমাণ ঐ বিন্দুর প্রকৃত গভীরতার আনুপাতিক হইবে।*

এইজন্য লাঠির নিমজ্জিত অংশের নিম্ন দিকের বিন্দুর প্রকৃত গভীরতা বেশি বলিয়া উহা অধিক উত্থিত দেখাইবে এবং জলপৃষ্ঠের নিকটবর্তী বিন্দু অনেক কম উত্থিত বোধ হইবে। ইহার ফলে B বিন্দুর অবস্থান স্থির থাকিবে এবং C বিন্দু সর্বাপেক্ষা বেশি উত্থিত বলিয়া মনে হইবে। অর্থাৎ, BC অংশ জলপৃষ্ঠ Bতে বেঁকিয়া উপরের দিকে উঠিয়া আছে মনে হইবে। লম্বভাবে না দেখিয়া তির্যকভাবে দেখিলে ঐরূপ আপাত উত্থান আরও বৃদ্ধি পাইবে। ছবিতে নিমজ্জিত অংশ তির্যকভাবে দেখা হইতেছে দেখান হইয়াছে। এই কারণেই সাঁতারকাটার জলাধারের (swimming pool) জল পারে দাঁড়াইয়া দেখিলে প্রকৃত গভীরতা হইতে কম গভীর দেখায়। আবার নিকটের জল অপেক্ষা দূরের ধারের জল কম গভীর দেখায়। অর্থাৎ জলাধারের তলা হেলিয়া আছে মনে হয়। জলাধারের তলার দূরের বিন্দুগুলি হইতে যে রশ্মিগুলি চক্ষুতে পৌঁছায় উহারা অপেক্ষাকৃত বেশি তির্যকভাবে আসে বলিয়া তলার দূরের দিকের আপাত উত্থান বেশি হয়।

(৫) **বায়ুমণ্ডলে আলোর প্রতিসরণ।**—পৃথিবীপৃষ্ঠ হইতে যত উচ্চে যাওয়া যাইবে বায়ুর ঘনত্ব তত কমিবে। ঘনত্ব ক্রমশঃ কম বলিয়া ঊর্ধ্ব দিকে বায়ুর প্রতিসরণ-গুণাঙ্ক কমিতে থাকে। ইহার ফলে কোন জ্যোতিষ্ক হইতে আলোকরশ্মি পৃথিবীর দিকে আসিবার কালে বায়ুমণ্ডলে আসিয়া ক্রমাগত বেশি বেশি প্রতিসৃত হওয়ার ফলে সরল পথে পৃথিবীপৃষ্ঠে আসিতে পারে না, উহা যত নীচে নামে ততই ক্রমাগত বেশি বেঁকিয়া আসিতে থাকে। এইজন্য পৃথিবীপৃষ্ঠের কোন দর্শক (A) জ্যোতিষ্ক Sকে Sএ না দেখিয়া S'এ দেখিতে পাইবে, কারণ ঐ বরাবর আলোকরশ্মি দর্শক Aর চক্ষুতে উপনীত হয় (চিত্র ৪৫)। জ্যোতিষ্কের আপাত উন্নতি, তাহা



চিত্র ৪৫

* [আপাত উত্থান=প্রকৃত গভীরতা−আপাত গভীরতা=প্রকৃত গভীরতা−(প্রকৃত গভীরতা / μ), অনুচ্ছেদ ৪৭ সমীকরণ (১)=প্রকৃত গভীরতা$\times\left(\frac{\mu-1}{\mu}\right)$].

হইলে, উহার প্রকৃত উন্নতি হইতে অধিক হইবে। এইজন্য সূর্য উদিত হইবার কিছু পূর্ব হইতেই উহা দৃষ্টিগোচর হয়; আবার, সূর্যাস্তের পরও কিছুক্ষণ উহা দৃশ্যমান থাকে।

সূর্য যখন দিগন্তের পাটে থাকে তখন উহাকে গোলাকৃতি না দেখাইয়া ডিম্বাকৃতি দেখায় কেন?—ঐ অবস্থায় সূর্যের নিম্নভাগ হইতে আগত আলোকরশ্মিগুলি উপরিভাগ হইতে আগত রশ্মিগুলি অপেক্ষা বেশি তির্যকভাবে বায়ুর নানা স্তর ভেদ করিয়া অবশেষে পৃথিবীপৃষ্ঠে উপনীত হয়। ফলে সূর্যের খাড়া দিকের ব্যাসের নিম্নতম বিন্দুর আপাত উন্নতি শীর্ষস্থ বিন্দুর আপাত উন্নতি অপেক্ষা বেশি হয়। সুতরাং খাড়া ব্যাসটি প্রকৃত ব্যাস অপেক্ষা কম দেখায়। অনুভূমিক দিকের ব্যাসের কোন আপাত হ্রাসের কারণ নাই, কেন-না ঐদিক হইতে আগত রশ্মিগুলির প্রতিসরণ সমান মাত্রায় হয়। খাড়া ব্যাসের আপাত হ্রাস এবং অনুভূমিক ব্যাস ঠিক থাকা অর্থ সূর্যটিকে ডিম্বাকৃতি দেখা।

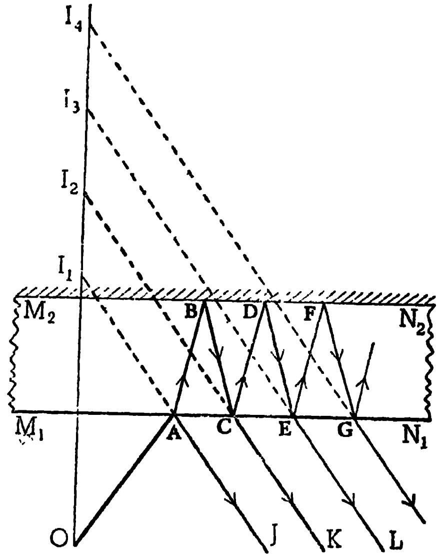
৪৮। (ক) তৈলসিক্ত কাগজ কিছুটা স্বচ্ছ হয় কেন?—সাধারণ কাগজের পৃষ্ঠ খস্‌খসে, অর্থাৎ এইরূপ কাগজের প্রত্যেক বিন্দু ঠিক ঠিক একই সমতলে থাকে না। এইজন্য আপতিত রশ্মিগুলির অধিকাংশ এই কাগজ দ্বারা অনিয়মিত প্রতিফলনে চতুর্দিকে বিক্ষিপ্ত হয়, খুব কম অংশই কাগজের ভিতর দিয়া বিপরীত পারে গিয়া পৌঁছায়। কাগজ তৈলসিক্ত হইলে উহা আর খস্‌খসে থাকে না, উহার পৃষ্ঠ হইতে আলোকবিক্ষেপ অনেক কমিয়া যায় এবং কাগজের মধ্য দিয়া যাওয়া আলোর পরিমাণ বাড়িয়া যায়। ইহাই কাগজের ঈষদচ্ছ হওয়ার কারণ।

(খ) একটি কাঁচের রডের মাথায় একটি লৌহগোলক রাখিয়া রডটি শীর্ষ পর্যন্ত গ্লিসিরলে ডুবাইয়া রাখা হইলে ঐ তরলের উপর লৌহগোলকটি ভাসন্ত অবস্থায় আছে মনে হয়।—গ্লিসিরল ও কাঁচের প্রতিসরণ-গুণাঙ্ক সমান এবং উভয়ই অ-রঙীন স্বচ্ছ পদার্থ। সুতরাং গ্লিসিরলে কাঁচের রডটি নিমজ্জিত থাকিলে গ্লিসিরল ও কাঁচ একই আলোকমাধ্যমরূপে ক্রিয়া করিবে এবং কাঁচের রডটি গ্লিসিরল হইতে পৃথক্ বলিয়া মনে হইবে না। ফলে, কাঁচের রডের শীর্ষস্থ লৌহগোলকটি গ্লিসিরল তরলে ভাসন্ত আছে দেখা যাইবে।

৪৯। পুরু কাঁচের দর্পণে বহু প্রতিবিম্ব গঠন:—একখানি পুরু কাঁচের দর্পণের সম্মুখে একটি মোমবাতি জ্বালাইয়া দিয়া তির্যক্ দিকে দর্পণের উপর দৃষ্টি নিবদ্ধ

রাখা হইলে উহাতে মোমবাতিটির বহু প্রতিবিম্ব দেখা যায় কাঁচ কর্তৃক যুগপৎ প্রতিফলন ও প্রতিসরণ ক্রিয়া ঘটে বলিয়া ইহা হয়।

মনে কর, M_2N_2 দর্পণের প্রতিফলন-তল এবং M_1N_1 উহার সম্মুখ পৃষ্ঠ (চিত্র ৪৬)। Oতে একটি মোমবাতি জ্বালাইয়া রাখা হইয়াছে। OA রশ্মি তির্যক-ভাবে M_1N_1 পৃষ্ঠের উপর পতিত হইয়াছে। ইহার কিছু আলো AJ পথে নিয়মিত প্রতি-ফলিত হইয়া I_1 প্রতিবিম্ব গঠন করে এবং অবশিষ্টাংশ AB পথে প্রতিসৃত হইয়া প্রতিফলন-পৃষ্ঠ M_2N_2র উপর আপতিত হয়। ঐ পৃষ্ঠ হইতে উহার আবার নিয়মিত প্রতিফলন হয় BC পথে। BCর আলোকের অধি-কাংশ CK পথে প্রতিসৃত হইয়া (প্রতিসরণ-কোণ আপাতন-কোণ অপেক্ষা বেশি, কারণ বায়ু কাঁচ অপেক্ষা লঘুতর) পুনরায় বায়ুতে প্রবেশ করে এবং উহা দ্বারা গঠিত প্রতিবিম্ব I_2 সর্বাপেক্ষা বেশি উজ্জ্বল হয়। BCর সামান্য অবশিষ্ট আলোক সম্মুখ পৃষ্ঠ হইতে নিয়মিত প্রতিফলিত হইয়া CD পথে দর্পণের প্রতিফলন-তলের দিকে যায়। এইভাবে সম্মুখ-পৃষ্ঠ কর্তৃক আংশিক প্রতিফলন ও আংশিক প্রতিসরণ দ্বারা এবং প্রতিফলন-পৃষ্ঠ হইতে বহুবার প্রতিফলন দ্বারা I_3, I_4,......ইত্যাদি আরও বহু প্রতিবিম্ব গঠিত হইতে থাকে। সব কয়টি প্রতিবিম্ব O হইতে দর্পণের উপর অংকিত উল্লম্বের উপর থাকিবে

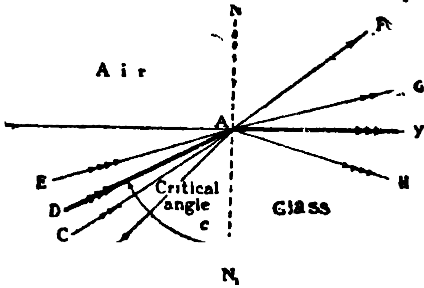


চিত্র ৪৬

রশ্মি মোটামুটি তির্যক্‌ভাবে আপতিত হইলে দ্বিতীয় প্রতিবিম্ব হয় সর্বাপেক্ষা বেশি উজ্জ্বল। কিন্তু আলোকরশ্মিগুলি খুব বেশি তির্যক্‌ভাবে দর্পণের উপর পতিত হইলে উপরের পৃষ্ঠ হইতেই অধিক আলোক প্রতিফলিত হয় এবং প্রথম প্রতিবিম্ব সর্বাপেক্ষা উজ্জ্বল হয়।

দর্পণে নিজ প্রতিবিম্বের দিকে তাকাইলে বহু প্রতিবিম্বের জন্য কোন বিভ্রান্তি ঘটে না৭ কারণ, দর্পণের সম্মুখ এবং পশ্চাৎ পৃষ্ঠ দ্বারা গঠিত প্রতিবিম্বগুলি উল্লম্ব দৃষ্টিতে ঠিক ঠিক একে অন্যের উপরে পড়িয়া মিলিয়া যায় এবং একটি মাত্র প্রতিবিম্ব দেখা যায়।

৮০। সংকট-কোণ: আভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন (Critical angle : **total internal reflection**):—ঘনতর মাধ্যম হইতে লঘুতর মাধ্যমে গেলে আলোকরশ্মি আপতনবিন্দুতে অভিলম্বের বিপরীত দিকে বেঁকিয়া যায়, অর্থাৎ এই ক্ষেত্রে প্রতিসরণ-কোণ আপতন-কোণ অপেক্ষা বড় হয়। চিত্র ৪৭-এ BA রশ্মি ঘনতর মাধ্যমের (কাঁচ) মধ্য দিয়া XY সীমাতলে A-বিন্দুতে আপতিত হইয়াছে। এরপর উহা লঘুতর মাধ্যমের (বায়ু) মধ্যে AF পথে প্রতিসৃত হইয়াছে। স্পষ্টতঃই আপতন-



চিত্র ৪৭

কোণ $\angle BAN_1$ হইতে প্রতিসরণ-কোণ $\angle FAN$ বৃহত্তর [NAN_1, XYএর উপর A বিন্দুতে অভিলম্ব]। এখন আপতন-কোণ ধীরে ধীরে বাড়াইলে ($\angle BAN_1$ হইতে $\angle CAN_1$ এবং $\angle CAN_1$ হইতে $\angle DAN_1$ ইত্যাদিরূপে) প্রতিসরণ-কোণও ধীরে ধীরে বাড়িতে ($\angle FAN$ হইতে $\angle GAN$, ইত্যাদিরূপে) থাকিবে। আপতন-কোণ বর্ধিত হইতে থাকিলে কোন এক আপতন-কোণের জন্য (চিত্রে $\angle DAN_1$) প্রতিসরণ-কোণ ঠিক $90°$ হইবে, অর্থাৎ প্রতিসৃত রশ্মি তখন ঠিক মাধ্যমদ্বয়ের সীমাতল (AY) বরাবর যাইবে। এই অবস্থার আপতন-কোণের ($\angle DAN_1$) নাম হইল উক্ত মাধ্যমদ্বয়ের জন্য সংকট-কোণ। তাহা হইলে সংকট-কোণের এইরূপ সংজ্ঞা দেওয়া যাইতে পারে যে, "আলোকরশ্মি ঘনতর মাধ্যম হইতে লঘুতর মাধ্যমে যাইবার কালে যে আপতন-কোণের জন্য রশ্মির প্রতিসরণ-কোণ $90°$ হয় অর্থাৎ রশ্মি সীমারেখা ঘেষিয়া প্রতিসৃত হয়, ঐ আপতন-কোণকে লঘুতর মাধ্যমটির জন্য ঘনতর মাধ্যমটির সংকট-কোণ (**critical angle**) বলে।" এই কোণকে সংকট-কোণ বলা হয় এইজন্য যে, আপতন-কোণ এই কোণ অতিক্রম করিলে (বা এই কোণ অপেক্ষা অধিক হইলে) রশ্মির প্রতিসরণ ঘটে না, সম্পূর্ণ আলোক

প্রতিফলনের স্বাভাবিক সূত্রানুযায়ী নিয়মিত প্রতিফলিত হইয়া ঘনতর মাধ্যমে আবার ফিরিয়া আসে। সংকট-কোণের মান বিভিন্ন রং-এর আলোর ক্ষেত্রে বিভিন্ন। লঘুতর মাধ্যমটি পরিবর্তিত হইলে ঘনতর মাধ্যমের সংকট-কোণ পরিবর্তিত হয়।"

সংকট-কোণ ও প্রতিসরণ-গুণাঙ্কের সম্পর্ক।—মনে কর, ঘনতর মাধ্যমের কোণের (বা আপতন-কোণের) মান C এবং ইহার জন্য লঘুতর মাধ্যমের কোণ বা প্রতিসরণকোণ $=90^\circ$। অতএব এই লঘুতর মাধ্যমের জন্য ঘনতর মাধ্যমের প্রতিসরণ-গুণাঙ্ক μ হইলে, $\frac{1}{\mu}=\frac{\sin C}{\sin 90}$; বা $\sin C=\frac{1}{\mu}$, ($\sin 90^\circ=1$ বলিয়া) ; বা, $C=\sin^{-1}\frac{1}{\mu}$; বা,

$$\mu=\frac{1}{\sin C} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (১)$$

মন্তব্য ঃ সংকট-কোণের সংজ্ঞা পূর্বে দেওয়া হইয়াছে। ঐ সংজ্ঞার কোণকে সংকট-কোণ বলিবার কারণ এই যে, ঘনতর মাধ্যমের আপতন-কোণ ইহার কম থাকিলে লঘুতর মাধ্যমে আলোর প্রতিসরণ ঘটিবে, কিন্তু আপতন-কোণ সংকট-কোণ অপেক্ষা অধিক হইলে কোন প্রতিসরণ ঘটিবে না, সম্পূর্ণ আলোকই প্রতিফলনের নিয়ম অনুযায়ী প্রতিফলিত হইয়া ঐ ঘনতর মাধ্যমেই পুনরায় ফিরিয়া যাইবে।

আভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন (total internal reflection).—কোন নির্দিষ্ট রং-এর আলোকরশ্মি কোন ঘন মাধ্যম দিয়া যাইতে যাইতে যদি কোন লঘুতর মাধ্যমের উপর সংকট-কোণ অপেক্ষা অধিক আপতন-কোণে আপতিত হয়, তাহা হইলে উহার সমস্ত আলোক নিয়মিত প্রতিফলনের সূত্রানুযায়ী প্রতিফলিত হইয়া ঘন মাধ্যমে ফিরিয়া যায়। এই ঘটনাকে আভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন-ক্রিয়া বলা হয়।

আভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলনের সর্ত।—

(১) এই ঘটনা ঘটিতে পারে আলোকরশ্মি ঘন মাধ্যম হইতে লঘুতর মাধ্যমে যাইবার কালে। বিপরীত যাত্রায় ইহা সম্ভব নহে ;

(২) রশ্মির আপতন-কোণ সংকট-কোণ ($\sin^{-1}\frac{1}{\mu}$, এখানে μ লঘু মাধ্যমের তুলনায় ঘন মাধ্যমের প্রতিসরণ-গুণাঙ্ক) অপেক্ষা অধিক হইবে।

Examples

1. ***For water, $\mu=4/3$. What is the critical angle for water ?***

উত্তর ঃ মনে কর, বায়ুর জন্য জলের সংকট-কোণ হইল C ; তাহা হইলে, $C=\sin^{-1}\frac{1}{\frac{4}{3}}=\sin^{-1}\frac{3}{4}$ $=48^\circ\ 36'$।

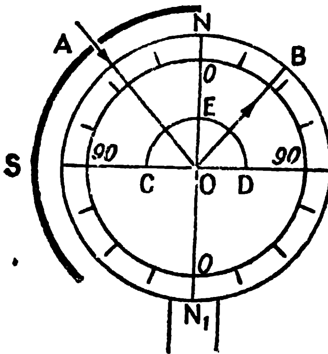
2. *For glass, $\mu = 1·5$. Find the critical angle for glass with respect to air.*

উত্তর ঃ মনে কর, বায়ুর জন্য কাঁচের সংকট-কোণ হইল C ; তাহা হইলে, $C = \sin^{-1}\frac{1}{\frac{3}{2}} = \sin^{-1}\frac{2}{3}$ $= 42°$।

3. *The refractive indices for glass and water are 1·52 and 1·33 respectively. Calculate the critical angle when light passes from glass to water.*

উত্তর ঃ ${}^{g}\mu_{w} = \frac{1·33}{1·52} = 0·875$। জলের জন্য কাঁচের সংকট-কোণ, $C = \sin^{-1}\frac{1}{{}^{w}\mu_{g}} = \sin^{-1}\, {}^{g}\mu_{w} = \sin^{-1} 0·875 = 61°\ 3'$।

৫০(ক)। কাঁচের প্রতিসরণ-গুণাঙ্ক নির্ণয় এবং আভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন প্রদর্শন :—হার্ট্‌লএর আলোক-চাকৃতির সহিত সমকেন্দ্রিকভাবে একটি কাঁচের গোলকের নিয়মিত চতুর্থাংশ ($CEDO$) এমনভাবে বসাও যেন উহার এক সমতল-পৃষ্ঠ চাকৃতির সহিত লাগিয়া থাকে এবং অপর সমতলপৃষ্ঠ (COD) চাকৃতির 90°—90° লাইনের বরাবর খাড়াভাবে থাকে (চিত্র ৪৮)। পার্শ্বস্থ পর্দার (S) ছিদ্র (A) দিয়া একটি সরু রশ্মিগুচ্ছ (AO) চাকৃতির কেন্দ্র O অভিমুখে পাঠাও। ঐ রশ্মিগুচ্ছ কেন্দ্র O বরাবর নির্দিষ্ট বলিয়া CED বক্রপৃষ্ঠের উপর লম্বভাবে পতিত হয় এবং তাই ইহার প্রতিসরণজনিত কোন দিক্‌-বিচ্যুতি ঘটিবে না এবং ইহা সোজাসুজি Oতে গিয়া পৌছিবে। O হইতে সম্মুখের বায়ুতে প্রতিসৃত হইয়া প্রবেশ করিবে। বায়ুতে



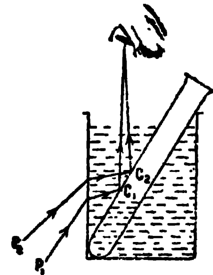
চিত্র ৪৮

প্রতিসৃত রশ্মি AO-রেখা বরাবর না গিয়া অভিলম্ব NON_1 হইতে আরও দূরে সরিয়া যাইবে। এখন চাকৃতিটি ধীরে ধীরে ঘুরাইয়া AOর আপতন-কোণ ($\angle AON$) (কাঁচের মধ্যের O-বিন্দুতে) বাড়াইলে উহার বায়ুতে প্রতিসরণ-কোণও বাড়িবে। ধীরে ধীরে আপতন-কোণ বাড়াইতে বাড়াইতে যখন দেখিবে প্রতিসৃত রশ্মিটি ODর গা ঘেঁষিয়া

যাইতেছে এবং ঐ কোণ সামান্য আর-একটু বাড়াইলেই বায়ুতে প্রতিসৃত রশ্মি আর দেখা যায় না এবং উহা আভ্যন্তরীণ প্রতিফলনে 90°—90° লাইনের উপরে চলিয়া যায়, তখন যে আপতন-কোণ হইবে তাহা চাকৃতির স্কেলের সাহায্যে মাপ। ঐ কোণ C হইলে, $\sin C = \frac{1}{{}^a\mu_g}$ হইবে। বার বার পরীক্ষা করিলে Cর মান একই হওয়া উচিত। কাঁচের প্রতিসরণ-গুণাঙ্ক ${}^a\mu_g$ ইহা হইতে পাওয়া যাইবে। আপতন-কোণ শেষ পর্যন্ত সংকট-কোণ $\left(\sin^{-1}\frac{1}{{}^a\mu_g}\right)$ অপেক্ষা অধিক হইলে প্রতিসৃত রশ্মি অদৃশ্য হইবে এবং প্রতিফলিত রশ্মি OB পাওয়া যাইবে। এই প্রতিফলিত রশ্মিও গোলকাংশটির একটি ব্যাসার্ধ বরাবর যায় বলিয়া গোলকপৃষ্ঠ হইতে বায়ুতে বাহির হইবার সময় ইহা দিক্‌বিচ্যুত হয় না। অতএব OB-রশ্মিকে আভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলনের ফলে প্রাপ্ত রশ্মি বলিয়া বিবেচনা করা চলে। চাকৃতির স্কেল হইতে দেখা যাইবে, $\angle AON = \angle BON$। আবার, AO, ON ও OB সকলেই চাকৃতির উপরে একই সমতলে আছে। চাকৃতি ঘুরাইয়া O-বিন্দুতে রশ্মির আপতন-কোণ আরও বাড়াইলেও প্রতি ক্ষেত্রেই ঐরূপ তথ্যই পাওয়া যাইবে। অতএব দেখা যায় যে, আভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলনের ক্ষত্রে প্রতিফলনের স্বাভাবিক সূত্রাবলী প্রতিপালিত হয়।

৫। আভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন-জনিত কয়েকটি ঘটনা :—

(ক) একটি জলপূর্ণ বীকারের মধ্যে খানিকটা জল-ভরা একটি টেস্ট-টিউব রাখ (চিত্র ৪৯) এবং বীকারের উপর হইতে উল্লম্বভাবে নীচের দিকে তাকাও। টিউবটি ধীরে ধীরে বেঁকাইলে এক সময় ইহা চক্‌চকে একটি দর্পণের মত প্রতিভাত হইবে। ইহা আলোর আভ্যন্তরীণ প্রতিফলনের জন্য হয়। P_1P_2র মধ্যে সীমিত আলোকরশ্মিগুচ্ছ বাহির হইতে আসিয়া জলের মধ্য দিয়া গিয়া শেষ পর্যন্ত টিউবটির মধ্যস্থ বায়ুতে প্রবেশ করে। টিউবটি হেলাইয়া জলের মধ্যের আপতন-কোণ সংকট-কোণের অধিক করা হইলে C_1C_2 পৃষ্ঠ হইতে আভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলনের জন্য আলোকরশ্মিগুলি খাড়া উপরের দিকে চক্ষুতে গিয়া পৌছিবে এবং টিউবের পাত্র (C_1C_2) চক্ষুর নিকট একটি দর্পণপৃষ্ঠের মত চক্‌চকে মনে হইবে।



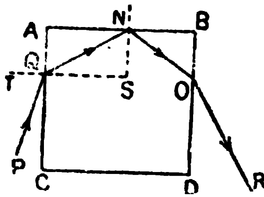
চিত্র ৪৯

ঐ অবস্থায় টিউবটি জল দ্বারা পূর্ণ করিয়া দাও। এখন রশ্মিগুচ্ছ বীকারের জল হইতে টিউবের জলে প্রবেশ করিবে বলিয়া আভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলনের সম্ভাবনা থাকিবে না। সুতরাং এক্ষেত্রে টিউবের গাত্রের দর্পণসদৃশ ঔজ্জ্বল্য আর দেখা যাইবে না।

(খ) জলের মধ্য দিয়া গ্যাসের বুদ্বুদ উঠিলে ঐ গ্যাস অদৃশ্য পদার্থ হওয়া সত্ত্বেও ঐ অবস্থায় বেশ চকচকে দেখায় কেন? ইহা আলোর আভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলনে ঘটে। জল হইতে গ্যাস লঘুতর। যে সমুদয় আলোকরশ্মি জলের মধ্য দিয়া গিয়া গ্যাসের গোলাকার বুদ্বুদগুলির পৃষ্ঠের উপর 49°র বেশি আপতন-কোণে পড়ে ঐগুলি আভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন পদ্ধতিতে প্রতিফলিত হইয়া নিরীক্ষণকারীর চক্ষে পৌছে। সুতরাং বুদ্বুদগুলি চক্চকে দেখায়। গ্যাসের জন্য জলের সংকট-কোণ প্রায় 49°।

(গ) একটি সাধারণ ধাতব গোলক জলে নিমজ্জিত থাকিলে ম্লান দেখায়। কিন্তু ধূম্রমণ্ডিত করিয়া জলে ডুবাইলে ইহাকে চক্চকে দেখায়। কেন? ইহা আলোর আভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলনের ফলে হয়। ধূম্রমণ্ডিত অবস্থায় একটি সূক্ষ্ম বায়ুস্তর জলকে গোলকটি হইতে পৃথক করিয়া রাখে। বায়ু জল অপেক্ষা লঘুতর। যে সমুদয় আলোকরশ্মি জলের ভিতর দিয়া গিয়া ঐ বায়ুস্তরে 49°র বেশী আপতন-কোণে পতিত হয় (বায়ুর জন্য জলের সংকট-কোণ 49°) ঐ সকল আলোকরশ্মি আভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলনের দ্বারা প্রতিফলিত হইয়া নিরীক্ষণকারীর চক্ষে পৌছে এবং প্রতিফলনকারী গোলকপৃষ্ঠ ঐজন্য চক্চকে দেখায়।

(ঘ) $ABDC$ একটি কাঁচের ঘনক (চিত্র ৫০)। ইহার CA পৃষ্ঠের উপর তির্যকভাবে পতিত যে-কোন রশ্মি বিপরীত পৃষ্ঠ হইতে উল্টা দিকে বাহির হইবে—CAর পরবর্তী পৃষ্ঠ ABতে আপতিত রশ্মির আভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন হওয়ার জন্যই এমন ঘটে। মনে কর, PQ হইল CA পৃষ্ঠে একটি তির্যকভাবে আপতিত রশ্মি, QN ইহার প্রতিসৃত রশ্মি। QN রশ্মি N বিন্দুতে AB পৃষ্ঠে আপতিত হয়, এবং Oতে OR পথে প্রতিসৃত হইয়া বায়ুর মধ্যে বাহির হয়। TQS হইল Q বিন্দুতে CAর উপর অভিলম্ব এবং SN হইল N বিন্দুতে ABর উপর অভিলম্ব। বায়ুর তুলনায় কাঁচের সংকট-কোণ 42°। অতএব QNS কোণ 42° অপেক্ষা অধিক হইলে আভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন ঘটিবে।



চিত্র ৫০

ব্যাখ্যা।— $\angle QNS = 90° - \angle NQS$। সুতরাং $\angle NQS$ সর্বোচ্চ হইলে $\angle QNS$ সর্বনিম্ন হইবে। PQর আপতন-কোণ সর্বোচ্চ, অর্থাৎ 90° হইলে উহার প্রতিসরণকোণ ($\angle NQS$এর মান) 42° হয়। এই 42° হইল $\angle NQS$এর সম্ভাব্য সর্বোচ্চ মান [কারণ, $\sin^{-1}\frac{1}{1\cdot5} = 42°$]। $\therefore$ $\angle QNS$এর সর্বনিম্ন মান $= 90° - 42° = 48°$ হইবে। ইহা সংকট-কোণ 42° হইতে বড়। অতএব PQ, CA পৃষ্ঠের উপর তির্যকভাবে যে কোণে পতিত হইলে উহার প্রতিসৃত রশ্মি QN আপাতন বিন্দু Nএ সর্বদা পূর্ণ প্রতিফলিত হইবে। Nএ আপতন-কোণ সর্বনিম্ন (48°) হইলে Oতে আপতন-কোণ সংকট-কোণ 42° সমান হইবে। Nএ আপতন-কোণ ইহার বেশি হইলে, Oতে আপতন-কোণ সংকট-কোণ অপেক্ষা কম হইবে এবং রশ্মিটি BD পৃষ্ঠ হইতে OR পথে (PQর বিপরীত দিকে) সর্বাবস্থাতেই বায়ুতে নিষ্ক্রান্ত হইবে।

(ঙ) কোন লেখার উপর একটি কাঁচের ঘনক চাপা দিলে ঘনকের চারিপাশের খাড়া দেওয়ালের মধ্য দিয়া উল্লম্বভাবে তাকাইয়া উহা পড়া যায় না।—

চিত্র ৫০ দেখ। মনে কর, যে ঘনকের AC পৃষ্ঠ কোন লেখার উপর আছে। কেবলমাত্র ORএর বরাবর বিপরীত দিকে তাকাইলে ঐ লেখা দেখা যাইবে। সুতরাং AB বা CD বা BD বা $ABDC$ বা $ABDC$-র বিপরীত পৃষ্ঠ হইতে পৃষ্ঠের লম্বদিকে তাকাইলে ঐ লেখা দেখা যাইবে না।

(চ) জলের মধ্য হইতে ঊর্ধ্ব দিকে অবলোকন—বায়ুর জন্য জলের সংকট-কোণ হইল প্রায় 49°। এইজন্য জলের উপরে অবস্থিত যাবতীয় পদার্থ জলের

চিত্র ৫১

মধ্যস্থ চোখে ($2\times49^\circ=$) 98° কোণবিশিষ্ট একটি শংকুর মধ্যে অবস্থিত মনে হইবে। এই শংকুর বাহিরে চক্ষু কেবলমাত্র জলের মধ্যস্থ বস্তু দেখিতে পাইবে। ঐ সকল বস্তু হইতে আলোকরশ্মি জলপৃষ্ঠে আভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন-দ্বারা চক্ষে উপনীত হইবে। চিত্র ৫১-তে জলপৃষ্ঠের উপর একদিকে একটি জাহাজ ও অন্য দিকে অস্তগামী সূর্য দেখান হইয়াছে। চক্ষের নিকট ইহারা সকলেই AEB শংকুর মধ্যে অবস্থিত মনে হইবে। এই শংকুর দুই তির্যক ধার AE ও BE পরস্পরের সহিত 98° কোণ করিবে। E হইতে জলপৃষ্ঠের উপর EO উল্লম্ব কল্পনা কর। এখন বলা যায় যে, চক্ষু Eর নিকট মনে হইবে যে, জলপৃষ্ঠের উপর যেন OA বা OB ব্যাসার্ধের একটি বৃত্তাকার ছিদ্র আছে এবং ঐ ছিদ্রের মধ্য দিয়াই জলপৃষ্ঠের উপরিস্থ পদার্থসমূহ দৃষ্টিগোচর হইতেছে।

এই শংকুর বাহিরে তাকাইলে চক্ষু জলের ভিতরের পদার্থসমূহ দেখিতে পাইবে। মনে কর, একটি মাছ জলের মধ্যে একটি শিলাস্তূপের আড়ালে আছে। ঐ মাছ হইতে যে আলোকরশ্মি আসিবে তাহা জলপৃষ্ঠ হইতে পূর্ণ প্রতিফলিত হইয়া চক্ষে আসিবে। ইহার কারণ এইযে, এরূপ ক্ষেত্রে আপতন-কোণ সর্বদাই 49° হইতে অধিক হইবে।

বায়ুর মধ্যে অবস্থিত বলিয়া আমরা সূর্যকে 180° কোণের বৃত্তীয় চাপে দৈনিক পরিক্রমা করিতে দেখিতে পাই। জলের মাছ কিন্তু সূর্যকে 98° কোণসম্পন্ন এক জ্যা ধরিয়া দৈনিক পরিক্রমা করিতে দেখিবে। সূর্যাস্তের সময় জলপৃষ্ঠ ঘেঁষিয়া সৌর আলোক পতিত হইলে মাছের কাছে সূর্যের উন্নতি হইবে $(90^\circ-49^\circ)=41^\circ$।

দৃষ্টান্ত ঃ কোন একটি জলাধারের মধ্যে জলপৃষ্ঠ হইতে h সে.মি. নীচে চক্ষু রাখা হইয়াছে। প্রমাণ কর যে, চক্ষুর নিকট জলপৃষ্ঠ $\frac{h}{\sqrt{\mu^2-1}}$ সে.মি. ব্যাসার্ধের ছিদ্রবিশিষ্ট একটি সমতল দর্পণ বলিয়া মনে হইবে (এই ক্ষেত্রে μ জলের প্রতিসরণ-গুণাঙ্ক)।

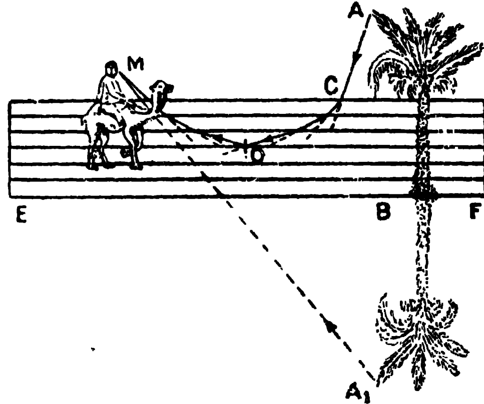
উপরোক্ত ব্যাখ্যা পড় এবং চিত্র ৫১ দেখ। $AO=BO=$ ছিদ্রের ব্যাসার্ধ $=(EO)\times(\tan AEO)=h\tan 49^\circ$। আবার, $\sin 49^\circ=\frac{1}{{}_{\text{বায়ু}}\mu_{\text{জল}}}$; বা, $\mu^2=\text{cosec}^2 49^\circ$ $=1+\cot^2 49^\circ$; বা, $\cot 49^\circ=\sqrt{\mu^2-1}$; $\therefore$ ছিদ্রের ব্যাসার্ধ

$$=AO=BO=h\tan 49^\circ=\frac{h}{\sqrt{\mu^2-1}}।$$

(ছ) মরীচিকা (mirage).—মরুভূমিতে তৃষ্ণার্ত পথিক সময় সময় সম্মুখে গাছের প্রকম্পিত উল্টানো প্রতিবিম্ব দেখিয়া মনে করে যে, সেখানে বুঝি জল আছে, কিন্তু সম্মুখে যাইতে যাইতে দেখে যে, উহা তাহার দৃষ্টির বিভ্রম মাত্র। এইরূপ মরীচিকাকে নিম্ন মরীচিকা (inferior mirage) বলা হয়। মেরু অঞ্চলে প্রচণ্ড শীতের সময় কখনও কখনও আকাশপটে জলের ভাসন্ত জাহাজ বা নৌকার উল্টানো প্রতিচ্ছবি দেখা যায়। এইরূপ দৃষ্টিবিভ্রমকে ঊর্ধ্ব মরীচিকা (superior mirage) বলা হয়।

উভয় মরীচিকাই আলোর আভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলনের দ্বারা গঠিত হয়।

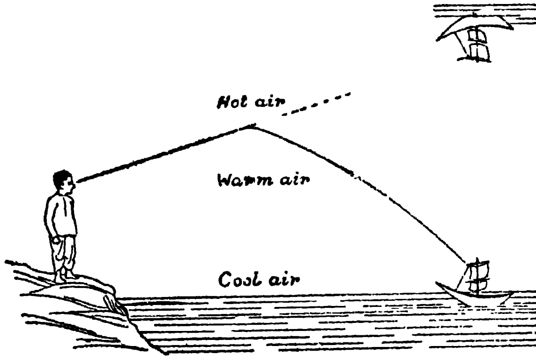
নিম্ন মরীচিকা.—মরুভূমিতে দিনের বেলা সূর্যের তাপে বালু অত্যন্ত উত্তপ্ত হইয়া উঠে। ফলে, সংলগ্ন বায়ুস্তরও অত্যন্ত উত্তপ্ত এবং হাল্‌কা হয়। উপরের দিকে বায়ুস্তরের উষ্ণতা ক্রমশঃ কম এবং ঘন থাকে। এই পরিস্থিতির জন্য মরুভূমির বায়ুর সর্বনিম্ন বায়ুস্তরের প্রতিসরণ-গুণাঙ্ক সর্বনিম্ন হয়। যত উপরে ওঠা যায় প্রতিসরণ-গুণাঙ্ক তত বেশি হয়। মনে করা যাক, BA বৃক্ষের শীর্ষ A হইতে (চিত্র ৫২) একটি রশ্মি (AC) নীচের দিকে আসিতেছে। রশ্মিটি এই ক্ষেত্রে ক্রমেই ঘনতর স্তর হইতে লঘুতর স্তরে প্রবেশ করে বলিয়া উহা প্রতি স্তরে আপতন-বিন্দুতে প্রতিসরণের সময় অভিলম্ব হইতে দূরে সরিয়া যাইতে থাকে। ফলে পরবর্তী স্তরসমূহে আপতন-কোণ ক্রমেই বাড়িতে থাকে। কোন স্তর বিশেষে আপতন-কোণ সংকট-কোণ ছাড়াইয়া গেলে রশ্মিটি আর নীচের দিকে না গিয়া পূর্ণ প্রতিফলনের ফলে উপরের দিকে উঠিবে। এবার আলোকরশ্মি লঘুতর স্তর হইতে ঘনতর স্তরে যায় বলিয়া ক্রমাগত অভিলম্বের দিকে বেঁকিয়া যাইতে থাকে। এই অবস্থায় উহা কোন উষ্ট্রারোহী যাত্রীর চক্ষে আসিয়া পৌছিলে তাহার মনে হইবে যে, বৃক্ষের শীর্ষ A_1এ অবস্থিত, কারণ ঐ বরাবরই রশ্মিটি বিপরীত দিকে যাত্রীর চক্ষে পৌছিয়াছে। ইহার অর্থ হইল এই যে, পথিক



চিত্র ৫২

AB গাছটির একটি উল্টানো প্রতিবিম্ব দেখিতে পায়। জলের মধ্যে গঠিত বৃক্ষাদির উল্টানো প্রতিবিম্বের সহিত সকলেরই পরিচয় আছে। মরুভূমির গরমে পথিকটির জলেরও বিশেষ প্রয়োজন। সহজেই তাই সে বিশ্বাস করে যে, ওখানে জল আছে এবং উহাতে বৃক্ষের প্রতিবিম্ব গঠিত হইয়াছে। মৃদুমন্দ বাতাসে প্রতিবিম্ব একটু কাঁপিতে থাকিলে এই বিশ্বাস তাহার আরও দৃঢ় হয়। কারণ, জলের উপর প্রকম্পিত ঐরূপ প্রতিবিম্বের সহিত তাহার পূর্বের পরিচয় আছে।

ঊর্ধ্ব মরীচিকা।—মেরুপ্রদেশে মাটির সংলগ্ন বায়ুস্তর সর্বাপেক্ষা ঠাণ্ডা ও ঘন থাকে; যত উপরে উঠা যায় বায়ুস্তর ততই লঘুতর হইতে থাকে; অর্থাৎ, বায়ুর প্রতিসরণ-গুণাঙ্ক যত ঊর্ধ্বে যাওয়া যায় ততই কমিতে থাকে। মনে কর, কোন ব্যক্তি



চিত্র ৫৩

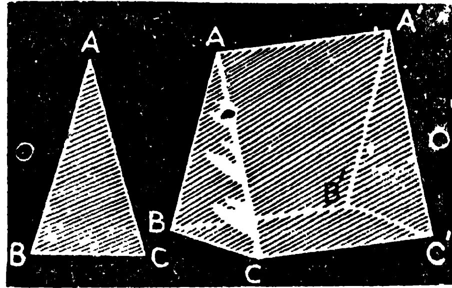
হইতে কিছু দূরে জলে ভাসন্ত একটি নৌকা আছে (চিত্র ৫৩)। নৌকা হইতে আলোক-রশ্মি উপরে উঠিবার কালে লঘু স্তরে প্রতিসৃত হইয়া ক্রমশঃ উহা অভিলম্ব হইতে দূরে সরিয়া যাইবে। রশ্মি যতই উপরে উঠিবে ততই উহা লঘুতর স্তরের মধ্য দিয়া যাইতে যাইতে নিম্ন দিকে বাঁকিয়া যাইবে। অর্থাৎ পর পর স্তরে উহার আপতন-কোণ বৃদ্ধি পাইতে থাকিবে। শেষ পর্যন্ত কোন এক স্তরে উহার আপতন-কোণ সংকট-কোণ অতিক্রম করিবে এবং উহার আভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন ঘটিবে। ইহার পর রশ্মিটি নিম্ন দিকে যাইবে এবং ক্রমেই ঘনতর মাধ্যমে প্রবেশ করিবে বলিয়া অভিলম্বের দিকে সরিয়া আসিবে। এইভাবে নৌকা হইতে দর্শকের চক্ষু পর্যন্ত আলোকরশ্মি একটি ধনুকের জ্যার আকারে বেঁকিয়া আসিবে। শেষ পর্যন্ত রশ্মিটি দর্শকের চোখে তির্যক্‌ভাবে নীচের

দিকে ঢুকিবে বলিয়া দর্শকের মনে হইবে যে নৌকাটি আকাশপটে উল্টানো অবস্থায় ঝুলিতেছে।

প্রিজ্‌ম (Prism)

৫২। **প্রিজ্‌ম :**—দুইটি পরস্পর হেলানো সমতল পৃষ্ঠ দ্বারা সীমাবদ্ধ কোন স্বচ্ছ মাধ্যমকে একটি 'প্রিজ্‌ম' বলা হয়। ঐ সমতল পৃষ্ঠদুইটিকে প্রতিসরণপৃষ্ঠ বলে। পৃষ্ঠ-দুইটি যে সরলরেখায় মিলিত হয় উহাকে প্রিজ্‌মের প্রতিসরণধার বা শুধু ধার (refracting edge) বলা হয়। সমতল পৃষ্ঠদুইটি পরস্পরের সহিত যে কোণ করে উহাকে প্রিজ্‌মের প্রতিসরণ-কোণ (refracting angle) বলে। প্রিজ্‌মের প্রতি-সরণধারকে লম্বভাবে যে তল ছেদ করে উহাকে প্রিজ্‌মটির একটি প্রধান ছেদ (principal section) বলা হয়। প্রতিসরণধারের বিপরীত দিকে প্রিজ্‌মের যে পৃষ্ঠ থাকে উহাকে প্রিজ্‌মের ভূমি (base) বলা হয়।

চিত্র ৫৪ দেখ। এখানে একটি প্রিজ্‌ম দেখান হইয়াছে। $ABB'A'$ এবং $ACC'A'$ পৃষ্ঠদ্বয় প্রতিসরণ-পৃষ্ঠের কাজ করিলে AA' হইবে প্রতিসরণধার। দুইটি প্রতি-সরণপৃষ্ঠের অন্তর্ভুক্ত কোণ ($\angle BAC$) হইল প্রতিসরণ-কোণ। প্রতিসরণধার AA'-এর বিপরীত পৃষ্ঠ $BCC'B'$ হই; প্রিজ্‌মের ভূমি। AA'-এর লম্ব ছেদ ABC হইল প্রিজ্‌মটির একটি প্রধান ছেদ। একটি প্রিজ্‌মকে সাধারণতঃ উহার এক প্রধান ছেদ (principal section) দ্বারা কাগজের উপর অংকিত করা হয়।

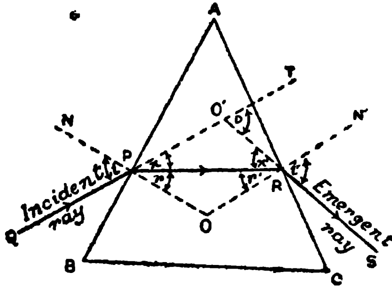


চিত্র ৫৪—প্রিজ্‌ম।

৫৩। **প্রিজ্‌মের প্রধান ছেদের তল-এ আলোকের প্রতিসরণ :—**

পরীক্ষা।—ড্রইং বোর্ডের উপর একখানি সাদা কাগজ চার কোণে চারটি পিন দিয়া আটকাইয়া দাও। কাগজের মধ্যস্থলে একটি প্রিজ্‌ম বসাইয়া প্রতিসরণধার AA' কাগজের উপর খাড়াভাবে বসাও।

একটি পেন্সিল দিয়া উহার সীমারেখা (ABC) টান (চিত্র ৫৫)। অতএব ABC ত্রিভুজ প্রিজ্‌মটির একটি প্রধান ছেদ হইল। AB-ধার ঘেঁষিয়া Pতে একটি পিন খাড়া করিয়া পুঁতিয়া দাও। আর-একটি পিন Qতে পোত। QP যেন ABএর সহিত হেলিয়া থাকে। এখন AC পৃষ্ঠের দিক্ হইতে দেখিয়া R ও Sএ এইরূপভাবে আর-দুইটি পিন (R থাকিবে ACএর ধার ঘেঁষিয়া এবং S কিছু দূরে) পোঁত যাহাতে Q, P, R ও Sএর পাদবিন্দু একই সরলরেখায় দেখা যায়। আলোকরশ্মি আপন পথে প্রত্যাগমন করে বলিয়া AB পৃষ্ঠের দিক্ হইতে দেখিলেও S, R, P ও Qর পাদবিন্দু একই সরল-রেখায় আছে বলিয়া দেখা যাইবে। এখন প্রিজ্‌ম সরাইয়া নাও। QP, PR ও RS যুক্ত কর। P বিন্দুতে ABর উপর NO অভিলম্ব টান। R বিন্দুতে ACর উপর $N'O$ অভিলম্ব টান। QPকে T পর্যন্ত এবং SRকে O' পর্যন্ত বর্ধিত কর। NO ও $N'O$ পরস্পরকে O বিন্দুতে ছেদ করে। QT ও SO' পরস্পরকে O' বিন্দুতে ছেদ করে। QP আপতিত রশ্মি, PR প্রতিসৃত রশ্মি, এবং RS হইবে বায়ুতে বহির্গত রশ্মি (emergent ray)। এই রশ্মিগুলি ও অংকিত লম্বগুলি সবই প্রিজ্‌মের একটি প্রধান ছেদের তলে আছে। QP ঘনতর মাধ্যমে প্রবেশ করার পর অভিলম্বের দিকে অর্থাৎ প্রিজ্‌মের ভূমির দিকে প্রতিসৃত হয়। আবার ঐ ঘনতর মাধ্যমের প্রিজ্‌ম হইতে বায়ুতে বহির্গত হইয়া বহির্গত রশ্মি অভিলম্ব হইতে দূরে অর্থাৎ প্রিজ্‌মের ভূমির দিকে বেঁকিয়া যায়। অর্থাৎ উভয় পৃষ্ঠেই প্রতিসরণ-রশ্মিটি ভূমির দিকে বেঁকিয়া যায়। অতএব বলা চলে যে, প্রিজ্‌মের মধ্য দিয়া গেলে রশ্মি প্রিজ্‌মের পুরু অংশের দিকে বেঁকিয়া যায়।



চিত্র ৫৫—ABC প্রিজ্‌মের প্রধান ছেদ।

৫৪। প্রিজ্‌ম অতিক্রমকারী রশ্মির ব্যত্যয় বা দিক্‌বিচ্যুতি :—চিত্র ৫৫ দেখ। প্রিজ্‌ম না থাকিলে QP রশ্মি QPT সরলরেখায় ধাবিত হইত। প্রিজ্‌ম থাকাতে রশ্মিটি শেষ পর্যন্ত RS পথ ধরিয়াছে। অর্থাৎ প্রিজ্‌ম থাকাতে রশ্মিটির $TO'R$ কোণ-পরিমাণ দিক্‌বিচ্যুতি ঘটিয়াছে। আপতিত রশ্মি ও বহির্গত রশ্মির অন্তর্ভুক্ত এই কোণকে ($\angle TO'R$) দিক্‌বিচ্যুতি কোণ (angle of deviation) বলা হয়।

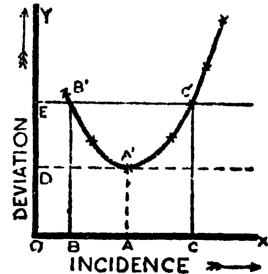
AB পৃষ্ঠের উপর আপতন-কোণ, $i=\angle QPN$; AB পৃষ্ঠে প্রতিসরণ-কোণ $r=\angle RPO$; AC পৃষ্ঠের উপর আপতন-কোণ, $r'=\angle PRO$; AC পৃষ্ঠে বহির্গমন-কোণ, $i'=\angle N'RS$ ।

$$\therefore \text{ দিক্‌বিচ্যুতি-কোণ} = \angle TO'R = \angle D = \angle x + \angle x' = i - r + i' - r'$$
$$= (i+i') - (r+r') \text{ ।}$$

প্রিজ্‌মের কোণ (বা প্রতিসরণ-কোণ) $= \angle PAR = \angle A.$

এখন, $\angle POR + \angle A = 180°$ [চতুর্ভুজ $OPAR$এর P ও Rএর কোণ সমকোণ বলিয়া]। আবার, $\angle POR + r + r' = 180$ । $\therefore$ $\angle A = r + r'$, সুতরাং দিক্‌বিচ্যুতি কোণ $= D = i + i' - (r+r') = i + i' - A$ ... (১)

৫৫। প্রিজ্‌মের ক্ষেত্রে নিম্নতম দিক্‌বিচ্যুতি কোণ ঃ—উপরোক্ত সমীকরণ (১) হইতে বোঝা যায় যে, কোন বিশেষ রংএর আলোর জন্য দিক্‌বিচ্যুতি কোণ আপতন-কোণের উপর নির্ভর করে। পরীক্ষার সাহায্যে বিভিন্ন আপতন-কোণের জন্য দিক্‌বিচ্যুতি কোণ নির্ণয় করা যায়। এইরূপ একটি পরীক্ষা দ্বারা নির্ণীত উপাত্তের সাহায্যে লেখ টানা হইলে যে লেখটি পাওয়া যায় তাহা হয় $B'A'C'$ (চিত্র ৫৬) লেখ-র মত। OX বা x-অক্ষ ধরিয়া আপতন-কোণ এবং OY বা y-অক্ষ ধরিয়া দিক্‌বিচ্যুতি-কোণ সূচিত করা হইয়াছে। এইরূপ লেখ-কে প্রিজমের $i-D$ লেখ বলা হয়। প্রদত্ত লেখ হইতে দেখা যায় যে, আপতন-কোণ একটি ছোট কোণ (OB) হইলে দিক্‌বিচ্যুতি-কোণ হইবে BB'। এখন আপতন-কোণ বাড়াইতে থাকিলে দিক্‌বিচ্যুতি-কোণ ক্রমাগত কমিতে কমিতে AA' মানে পৌঁছিবে। AA'কে নিম্নতম দিক্‌বিচ্যুতি-কোণ বলে। ইহার পর আপতন-কোণ আরও বৃদ্ধি করিলে দিক্‌বিচ্যুতি-কোণ এবার ক্রমাগত বাড়িতে থাকিবে। প্রত্যেক প্রিজ্‌মের ক্ষেত্রে নির্দিষ্ট রংএর আলোকের বেলা এক নির্দিষ্ট আপাতন-কোণের জন্য দিক্‌বিচ্যুতি-কোণ সর্বনিম্ন হয়। আপতন-কোণ এই কোণ হইতে ছোট হইলেও দিক্‌বিচ্যুতি কোণ বাড়িবে, বড় হইলেও দিক্‌বিচ্যুতি কোণ বাড়িবে। তাত্ত্বিক ও পরীক্ষাগত উভয় প্রকারের বিশ্লেষণ দ্বারাই দেখান যায় যে, $i=i'$, অর্থাৎ আপতন-কোণ=বহির্গমনকোণ হইলে দিক্‌বিচ্যুতি-কোণ সর্বনিম্ন হইয়া থাকে। ইহার অর্থ



চিত্র ৫৬—(i—D) লেখ।

এই যে, নিম্নতম দিক্‌বিচ্যুতির অবস্থায় রশ্মি দুই প্রতিসরণপৃষ্ঠে প্রিজমের কৌণিক বিন্দু হইতে সমান দূরত্বে থাকে। অর্থাৎ ঐ অবস্থায় $AP=AR$ হয়। এরূপ ক্ষেত্রে প্রিজ্‌মটি সমদ্বিবাহু হইলে অর্থাৎ এক প্রতিসরণ-পৃষ্ঠের বাহু $AB=$অন্য প্রতিসরণ-পৃষ্ঠের বাহু AC'র সমান হইলে প্রতিসৃত রশ্মি PRএর সঞ্চালনপথ প্রিজ্‌মের ভূমির (BC'র) সমান্তরাল হয়।

সমীকরণ, $D=i+i'-A$, হইতে বোঝা যায় যে, i ও i' কোণদ্বয় পরস্পর পাল্টান হইলেও দিক্‌বিচ্যুতি-কোণ D'র মান, পরিবর্তিত হয় না। চিত্র ৫৬ হইতেও ঐ একই বিষয়ের প্রমাণ মেলে। কারণ, x-অক্ষের সমান্তরাল যে-কোন সরলরেখা লেখটিকে B' ও C' এইরূপ দুইটি বিন্দুতে ছেদ করিবে। OB আপতন-কোণের জন্য দিক্‌-বিচ্যুতি কোণ BB' এবং OC আপতন-কোণের জন্যও দিক্‌বিচ্যুতি কোণ $CC'=BB'$ হইবে। OB ও OC'র যে-কোন একটিকে আপতন-কোণ ও অন্য একটিকে বহির্গমন-কোণ ধরিলে উভয়ের জন্য দিক্‌বিচ্যুতি কোণ তাই একই দেখা যাইতেছে। 'আলোক-রশ্মির নিজ পথে প্রত্যাগমন' সূত্রের সহিত এই সিদ্ধান্ত মিলিয়া যায়। লেখ হইতেও দেখা যায় যে, $i=i'$ হইলে দিক্‌বিচ্যুতি-কোণ (D) সর্বনিম্ন হইবে। অর্থাৎ, আপতন-কোণ বহির্গমনকোণের সমান হইলে দিকবিচ্যুতি-কোণ (D) সর্বনিম্ন হইবে।

৫৬। প্রিজ্‌মের ক্ষেত্রে নিম্নতম দিক্‌বিচ্যুতি কোণ ও প্রতিসরণ-গুণাঙ্কের সম্পর্ক ঃ—পূর্বের প্রতীক অনুযায়ী, $D=i+i'-A$ (চিত্র ৫৫)। $APOR$ চতুর্ভুজের মধ্যে $\angle APO=\angle ARO=90°$। $\therefore$ $\angle POR+\angle A=180°$। POR ত্রিভুজের তিনটি কোণ $\angle POR+r+r'=180°$। $\therefore$ $\angle A=\angle(r+r')$ ... ... (১)

দিকবিচ্যুতি কোণ (D) নিম্নতম হইলে, $i=i'$ এবং এইজন্য $r=r'$ হয়।

$$\left[\text{কারণ, } \frac{\sin i}{\sin r}=\frac{\sin i'}{\sin r'}={}^{\text{বায়ু}}\mu_{\text{কাঁচ}}=\text{ধ্রুব (একই রংএর আলোকের জন্য)}\right]$$

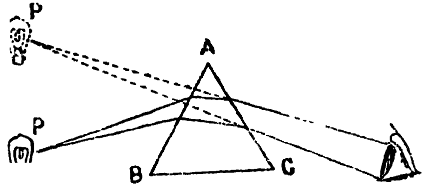
$$\therefore \quad \angle A=2r\text{; বা, } r=\frac{A}{2} \qquad \text{... ... ...} \qquad (২)$$

সুতরাং নিম্নতম দিক্‌বিচ্যুতি-কোণ, $D_m=\angle TO'R=(i-r)+(i'-r')=(i+i')-(r+r')=2i-2r=2i-A$।

$$\text{সুতরাং নিম্নতম দিকবিচ্যুতির জন্য, } i=\frac{D_m+A}{2} \qquad \text{... ...} \qquad (৩)$$

$$\therefore \quad \mu = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\sin \frac{(D_m + A)}{2}}{\sin \frac{A}{2}}, \text{ [সমীকরণ (২) ও (৩) হইতে] } \quad (৪)$$

৫৭। প্রিজ্‌ম দ্বারা গঠিত প্রতিবিম্ব :—কোন প্রিজ্‌মকে নিম্নতম দিক্‌-বিচ্যুতির অবস্থানে রাখিলে প্রতিবিম্ব খুব স্পষ্ট হইবে। এই অবস্থায় আপতন-কোণে অল্প পরিবর্তন হইলে দিক্‌বিচ্যুতি-কোণ বিশেষ বদলায় না (চিত্র ৫৬, $i - D$ লেখ দ্রষ্টব্য)। অর্থাৎ এই ক্ষেত্রে কোন বিন্দু হইতে এক সরু অপসারী আলোক-পেন্সিল প্রিজ্‌মের মধ্য দিয়া গিয়া প্রতিসৃত হইবার পরও ঐ পেন্সিলের রশ্মিগুলির পারস্পরিক ব্যবধান প্রায় পূর্বের মত থাকিবে। অতএব প্রিজ্‌ম হইতে বহির্গত আলোক-পেন্সিলের রশ্মিগুলিকে পশ্চাৎ দিকে বর্ধিত করিয়া দিলে ইহারা আবার একটি বিন্দুতেই গিয়া মিলিত হইবে। এই বিন্দুতে মূল বিন্দুর একটি প্রতিবিম্ব গঠিত হইবে। প্রিজ্‌ম নিম্নতম দিক্‌বিচ্যুতির অবস্থানে না থাকিলে প্রিজ্‌ম হইতে বাহির হইয়া আলোক-পেন্সিলের বিভিন্ন রশ্মিগুলি বিভিন্ন পরিমাণে দিক্‌বিচ্যুত হইবে। ফলে, কোন আলোকবিন্দুর প্রতিবিম্ব একটি বিন্দু না হইয়া অস্পষ্ট এক আলোকসম্পাতে পরিণত হইবে মাত্র, অর্থাৎ প্রতিবিম্ব গঠিত হইবে না।



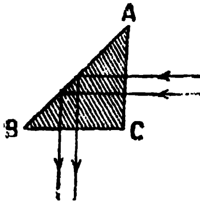
চিত্র ৫৭

চিত্র ৫৭-এ একটি প্রিজ্‌ম (ABC) দেখান হইয়াছে। বস্তু P হইতে একটি আলোক-পেন্সিল প্রিজ্‌মের উপর আপতিত হইতেছে। মনে কর যে, প্রিজ্‌মকে ঐ পেন্সিলের ঠিক মধ্যরশ্মির জন্য নিম্নতম দিক্‌বিচ্যুতির অবস্থানে রাখা হইয়াছে। প্রিজ্‌মের মধ্য দিয়া প্রতিসরণের পর ঐ আলোক-পেন্সিল চক্ষে প্রবেশ করে এবং P' হইতে আসিতেছে বলিয়া বোধ হয়। এইজন্য P'এ P বস্তুর এক প্রতিবিম্ব গঠিত হয়। লক্ষ্য করিলে দেখিবে যে, প্রিজ্‌মের মধ্য দিয়া প্রতিসরণের ফলে বস্তুটি প্রিজ্‌মের প্রতিসরণ-ধারের দিকে উঠিয়া গিয়াছে বলিয়া মনে হইবে।

৫৮। প্রিজ্‌মের বিশেষ বিশেষ ব্যবহার :— V. V. Imp

(ক) রশ্মির 90° দিক্‌বিচ্যুতি—চিত্র ৫৮-এ একটি সমদ্বিবাহু সমকোণী প্রিজ্‌ম (ACB) দেখান হইয়াছে। AC পৃষ্ঠের উপর লম্ব দিকে পতিত রশ্মি দিক্‌বিচ্যুত

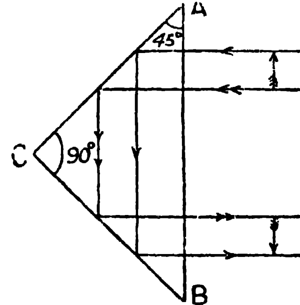
না হইয়া প্রিজ্‌মের মধ্য দিয়া গিয়া AB পৃষ্ঠে 45° আপতন-কোণে পতিত হয়। কাঁচ হইতে বায়ুতে সংকট-কোণ হইল প্রায় 42°। অতএব উপরোক্ত আপতন-কোণ সংকট-কোণ অপেক্ষা অধিক। সুতরাং রশ্মি 45° প্রতিফলন-কোণে আভ্যন্তরিকভাবে পূর্ণ-প্রতিফলিত হইয়া BC পৃষ্ঠের উপর উল্লম্বভাবে আপতিত হইবে। তাই ইহা দিক্‌পরিবর্তন না করিয়া বায়ুতে বহির্গত হইবে। অতএব দেখা যাইতেছে যে, শেষ বহির্গত রশ্মি উহার পূর্বের গতির দিকের সহিত 90° কোণ করে।



চিত্র ৫৮

দ্রষ্টব্য ঃ এই ক্ষেত্রে প্রিজ্‌মটি একটি বরফনির্মিত সমদ্বিবাহু সমকোণী ত্রিভুজ হইলে পূর্ণ-প্রতিফলন ঘটিত না। কারণ, বরফ হইতে বায়ুতে সংকট-কোণ হইল 49°। কিন্তু AB পৃষ্ঠের উপর আপতন-কোণ (45°) ইহা হইতে অনেক কম।

(খ) রশ্মির 180° দিক্‌বিচ্যুতির ফলে প্রতিবিম্বের উল্টা রূপ।—চিত্র ৫৯ দেখ। ABC একটি প্রিজ্‌মের প্রধান ছেদ। প্রিজ্‌মটি সমকোণী (Cতে) এবং সমদ্বিবাহু ($AC=BC$)। মনে কর, একটি সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ AB-পৃষ্ঠের উপর লম্বভাবে পতিত হইল। ইহা দিকে অবিচ্যুত থাকিয়া 45° আপতন-কোণে AC পৃষ্ঠের উপর পড়িবে। এই আপতন-কোণ (45°) কাঁচ ও বায়ুর সংকট-কোণ (42°) অপেক্ষা বেশি। তাই রশ্মিগুচ্ছ 45° প্রতিফলন-কোণে, AB পৃষ্ঠের সমান্তরাল দিকে আভ্যন্তরিকভাবে পূর্ণ-প্রতিফলিত হইবে।

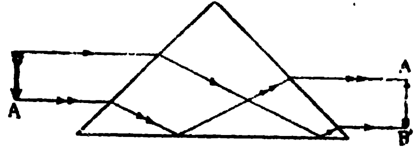


চিত্র ৫৯

অতএব রশ্মিগুচ্ছ CB পৃষ্ঠের উপর 45° আপতন-কোণে পতিত হইবে। সুতরাং পূর্বের ঐ একই কারণে রশ্মিগুচ্ছ আবার আভ্যন্তরিকভাবে পূর্ণ-প্রতিফলিত হইয়া AB পৃষ্ঠের লম্ব দিকে বাহির হইয়া আসিবে। আগত ও বহির্গত রশ্মির মধ্যে মোট দিক্‌বিচ্যুতি এক্ষেত্রে স্পষ্টতঃই 180°। সমান্তরাল দুই রশ্মিগুচ্ছের রশ্মির গতির দিক্ হইতে ইহা স্পষ্টই বোঝা যায় যে, প্রিজ্‌মের ধার (edge) খাড়া থাকিলে প্রতিবিম্ব

পার্শ্ব দিকে উল্টাইয়া যাইবে, আর প্রিজ্‌মের ধার অনুভূমিক থাকিলে প্রতিবিম্ব খাড়া দিকে উল্টাইয়া যাইবে।

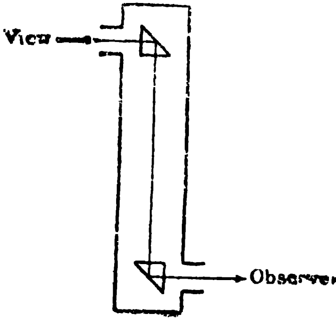
(গ) প্রতিবিম্ব খাড়া করিবার প্রিজ্‌ম (erecting prism).—কোন প্রিজ্‌মের সাহায্যে উল্টানো প্রতিবিম্বকে খাড়া করিয়া নিলে ঐভাবে ব্যবহৃত প্রিজ্‌মকে খাড়া করিবার প্রিজ্‌ম বলা হয়। চিত্র ৬০-এ একটি সমকোণী সমদ্বিবাহু প্রিজ্‌ম দেখান হইয়াছে। মনে কর, AB প্রতিবিম্বের দুই প্রান্ত হইতে আলোকরশ্মি ঐ প্রিজ্‌ম দ্বারা প্রতিসৃত,



চিত্র ৬০

তারপর আভ্যন্তরিকভাবে পূর্ণ-প্রতিফলিত ও শেষে আবার প্রতিসৃত (বা বহির্গত) হইয়া $A'B'$ প্রতিবিম্ব গঠন করিয়াছে। রশ্মিগুলির কোনই দিক্‌বিচ্যুতি ঘটে নাই কিন্তু উল্টানো প্রতিবিম্ব AB খাড়া হইয়া $A'B'$ হইয়াছে।

৫৯। **প্রিজ্‌ম-পেরিস্কোপ ঃ**—সাধারণ পেরিস্কোপের বিষয় পূর্বেই বিস্তারিত ভাবে বলা হইয়াছে। সাধারণ পেরিস্কোপের সমতল দর্পণ-দুইখানির বদলে ঐস্থানে দুইটি সমকোণী সমদ্বিবাহু পূর্ণ-প্রতিফলন প্রিজ্‌ম ব্যবহার করা চলে। প্রত্যেকটি প্রিজ্‌মের কর্ণপৃষ্ঠ একখানি সমতল দর্পণের মতই কাজ করিবে এবং সাধারণ পেরিস্কোপের অন্য সকল নীতিই এক্ষেত্রে প্রযোজ্য



চিত্র ৬১

হইবে। প্রিজ্‌মদুইটি কি ভাবে বসাইতে হয় তাহা চিত্র ৬১তে দেখান হইয়াছে।

৬০। **সমতল দর্পণের পরিবর্তে পূর্ণ-প্রতিফলন প্রিজ্‌ম্ ব্যবহার করিবার সুবিধা ঃ**—বায়ুর সংস্পর্শে থাকায় সমতল দর্পণ-এর প্রতিফলনক্রিয়ার ক্রমেই অবনতি ঘটে। এইজন্য এই ক্ষেত্রে প্রতিবিম্বের উজ্জ্বলতা কালক্রমে কমিয়া আসে। প্রিজ্‌মের প্রতিফলনপৃষ্ঠ কাঁচের মধ্যে থাকে বলিয়া এরূপ ঘটিতে পারে না। সমতল দর্পণে বিক্ষেপণ দ্বারা কিছু আলোক নষ্ট হয়; প্রিজ্‌মের প্রতিফলন হয় 'পূর্ণ' ভাবে। পুরু কাঁচের দর্পণে বহু প্রতিবিম্ব এবং ঐজন্য প্রতিবিম্বদর্শনে বিভ্রান্তি দেখা দিতে

পারে (তির্যক্‌দর্শনের ক্ষেত্রে)—সম্মুখ পৃষ্ঠ প্রতিফলকরূপে যেসব দর্পণে ব্যবহৃত হয় তাহাতে অবশ্য ইহা হয় না। প্রিজ্‌ম-এর ক্ষেত্রে কখনও এরূপ বিভ্রান্তি দেখা দেয় না।

Examples

1. A speck in the interior of a glassplate appears to an observer, looking normally into it, to be 2 mm. from the nearer surface. What is the real distance of the speck ? Given $_{air}\mu_{glass} = 1.5$.

উত্তর : $_{\text{বায়ু}}\mu_{\text{কাঁচ}} = 1.5 =$ প্রকৃত দূরত্ব/আপাত দূরত্ব। $\therefore$ প্রকৃত দূরত্ব $= 1.5 \times$ আপাত দূরত্ব $= 1.5 \times 2$ মি.মি. $= 3$ মি.মি.।

2. The angle of a prism is 60° and the minimum deviation produced by the prism in a pencil of light of single colour is 40°. Find the R.I. of the prism.

উত্তর : $$\mu = \frac{\sin\left(\frac{Dm+A}{2}\right)}{\sin\frac{A}{2}} = \frac{\sin\left(\frac{40^\circ+60^\circ}{2}\right)}{\sin\frac{60^\circ}{2}} = \frac{\sin 50^\circ}{\sin 30^\circ} = \frac{0.766}{0.5} = 1.53.$$

3. The index of refraction of a prism is $\sqrt{2}$. If the angle of incidence of a ray of light on one of the faces of the prism is 45°. Calculate the angle of emergence and the deviation of the ray.

উত্তর : $i = 45^\circ$ এবং $\mu = \sqrt{2}$. $\therefore \frac{\sin 45^\circ}{\sin r} = \sqrt{2}$; বা, $\sin r = \frac{\sin 45^\circ}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{2} \times \sqrt{2}} = \frac{1}{2}$; বা, $r = 30^\circ$।

প্রিজ্‌মের প্রতিসরণ-কোণ, $A = 60^\circ$ [প্রিজ্‌ম সমবাহু বলিয়া] $= r + r'$ [অনুচ্ছেদ ৫৬, সমীকরণ (১) দ্রষ্টব্য]। $\therefore r' = A - r = 60^\circ - 30^\circ = 30^\circ$। আবার, $\mu = \sqrt{2} = \frac{\sin i'}{\sin r'} = \frac{\sin i'}{\sin 30^\circ} = \frac{\sin i'}{\frac{1}{2}}$।

$\therefore \sin i' = \sqrt{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{\sqrt{2}}$; বা, $i' = 45^\circ$। রশ্মির দিক্‌বিচ্যুতি কোণ, $= i + i' - A$ [অনুচ্ছেদ ৫৪, সমীকরণ (১)] $= 45^\circ + 45^\circ - 60^\circ = 90^\circ - 60^\circ = 30^\circ$।

Exercises

1. State what is meant by the refractive index of a substance. On what factors does its value depend ?

2. Describe the pin-method of finding the R.I. of glass supplied in the form of a parallel-faced slab.

3. Ground glass is opaque, but it becomes fairly transparent when wet. Explain.

4. A ray of light strikes a cube of glass at an angle of incidence 60°. Each side of the cube is 6 cm. long and μ for glass is 1·5. Draw the emergent ray on a squared paper and find its lateral displacement. উত্তর : 2 সে.মি.।

5. A ray of light strikes a rectangular slab of glass at an angle of incidence of 45°. The emergent ray shows a lateral displacement of 2 cms. Find the thickness of the slab. Given, μ for glass=1·5. উত্তর : 6 সে.মি.।

6. A plate of glass 1 inch thick is placed over a dot on a sheet of paper. The dot appears 0·64 inch below the upper surface of the glass when viewed normally from above. What is the R. I. of the glass plate ? উত্তর : 1·57 ।

7. A picture is stuck on the flat bottom of a glass block 4 cm. thick. How much will the picture appear raised to perpendicular vision ? Given μ for glass=1·6. উত্তর : 1·5 সে.মি.।

8. What is 'total reflection' and under what circumstances does it occur ?

9. Explain the terms 'total reflection' and 'critical angle'. Deduce the relation between critical angle and refractive index. Find the critical angle for diamond (μ=2·417). উত্তর : 24·5°।

10. Prove that to an eye placed under water all objects lying above the surface of the water appear to lie inside a cone of semi-vertical angle equal to the critical angle for water.

11. Explain the following :—(1) A smoked ball immersed in water appears silvery white ; (2) Bubbles of air coming out through water in a glass vessel appear silvery to an observer standing by the sides.

12. 'Pools of water' appear to be seen on a tarmacadam road on a hot sunny day, which disappear on closer inspection. Explain the illusion.

13. Draw typical diagrams to show the formation of mirage in a desert and in very cold regions.

14. Explain with the aid of diagrams, what is meant by, (i) the edge of a prism, (ii) the angle of a prism, (iii) the base of a prism, and (iv) the principal section of a prism.

15. Explain the expression 'minimum deviation of a ray passing through

a prism. Draw an $i-D$ curve for a prism and indicate in it the angle of minimum deviation and the corresponding angle of incidence.

16. The minimum deviation produced by a hollow prism filled with a certain liquid is 30°. Angle of the prism is 60°. What is the R. I. of the liquid? উত্তর : 1·41।

17. The refracting angle of a prism is 60° and the refractive index of the prism for sodium light is known to be 1·5. What would be the angle of minimum deviation of a ray of sodium light passing through the prism? [(sin 48° 36′ = 0·75)]. উত্তর : 37° 12′।

18. Explain with the aid of diagram, how (i) a beam of parallel rays may be turned through 90° by a right-angled isosceles prism ; (ii) an inverted image may be made erect, by the use of a prism, without deviation of the ray

19. A ray enters perpendicularly through one face of an equilateral prism of crown glass (μ=1·5), From which face does it emerge? Find the angle of deviation of the ray. উত্তর : [রশ্মিটি দ্বিতীয় পৃষ্ঠে আভ্যন্তরীণ প্রতিফলনের পর তৃতীয় পৃষ্ঠের লম্বদিকে বহির্গত হইবে। দিক্‌বিচ্যুতি=60°]

চতুর্থ পরিচ্ছেদ

লেন্স (Lens)

৬১। গোড়াকার কথা :—

লেন্স.—লেন্স বলিতে আমরা দুই পৃষ্ঠবিশিষ্ট একটি স্বচ্ছ প্রতিসরণ মাধ্যমকে বুঝি। ঐ পৃষ্ঠদ্বয়ের অন্ততঃ একটি বৃত্তীয় বা নলীয় আকারের হইবে। লেন্সের একপৃষ্ঠ সমতল হইতে পারে। কোন লেন্সের এক বা উভয় পৃষ্ঠ নলীয় আকারের হইলে ঐ লেন্সকে নলীয় (cylindrical) লেন্স বলা হয়। আর কোন লেন্সের একপৃষ্ঠ বৃত্তীয় ও অন্য পৃষ্ঠ সমতল, বা উভয় পৃষ্ঠই বৃত্তীয় হইলে উহাকে সাধারণভাবে গোলকীয় (spherical) লেন্স বলা হয়। এইরূপ লেন্সের বিষয়ই এই গ্রন্থে আলোচিত হইবে। এইরূপ লেন্স দুই প্রকারের হইতে পারে—(ক) উত্তল লেন্স (convex lens) ও

(খ) অবতল লেন্স (concave lens)। কোন পৃষ্ঠের মধ্যভাগ উচ্চ বা স্ফীত থাকিলে ঐ পৃষ্ঠকে উত্তল বলে। আর পৃষ্ঠের মধ্যভাগে টোল (খাদ বা অবনতি) থাকিলে ঐ পৃষ্ঠকে অবতল বলা হয়।

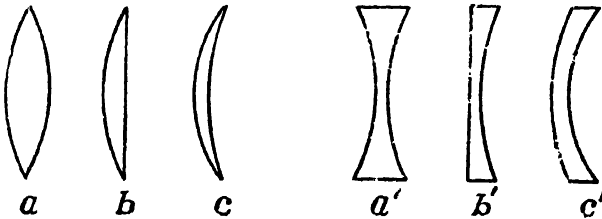
(ক) **উত্তল লেন্স** (convex lens).—উত্তল লেন্সের মধ্যভাগ মোটা এবং ধার সরু থাকে। উত্তল লেন্স আবার নিম্নলিখিত কয়টি রকমের হইতে পারে [চিত্র ৬২, (*a*), (*b*) ও (*c*)]—

(*a*) উত্তলোত্তল বা উভ-উত্তল লেন্স (double convex or bi-convex lens) —এক্ষেত্রে লেন্সের উভয় পৃষ্ঠই উত্তল থাকে ;

(*b*) সমতল-উত্তল লেন্স (plano-convex lens)—এক্ষেত্রে একটি পৃষ্ঠ সমতল ও অন্য পৃষ্ঠ উত্তল থাকে ;

(*c*) অবতল-উত্তল লেন্স (concavo-convex lens)—এক্ষেত্রে একটি পৃষ্ঠ অবতল ও অন্যটি উত্তল (অপেক্ষাকৃত বেশি বক্র) থাকে।

উত্তল লেন্সের সাধারণ ধর্ম এই যে, ইহার উপর কোন আলোকরশ্মিগুচ্ছ আপতিত হইলে প্রতিসরণের পর উহা অধিকতর অভিসারী হয়। এইজন্য উত্তল লেন্সকে অভিসারী লেন্স (covergent lens) বলা হইয়া থাকে।



চিত্র ৬২

(খ) **অবতল লেন্স.**—অবতল লেন্সের মধ্যভাগ সরু থাকে, ধার থাকে অপেক্ষাকৃত মোটা। অবতল লেন্স নিম্নলিখিত কয় রকমের হইতে পারে [চিত্র ৬২, (*a*′), (*b*′) (*c*′)]—

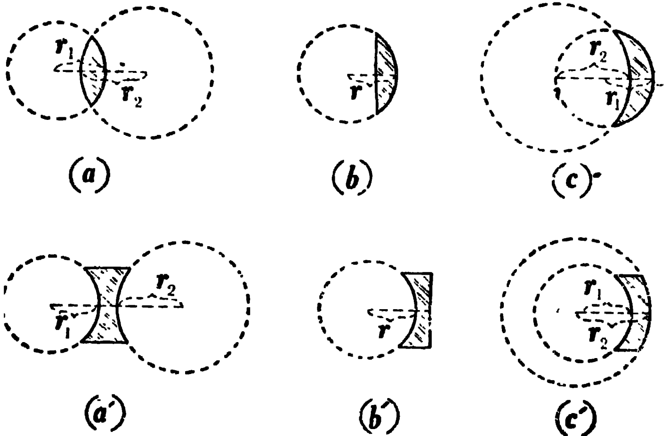
(*a*′) অবতল-অবতল বা উভ-অবতল লেন্স (double concave or bi-concave lens)—এক্ষেত্রে উভয় পৃষ্ঠই অবতল থাকে ;

(b') সমতল-অবতল লেন্স (plano-concave lens)—এক্ষেত্রে একটি পৃষ্ঠ সমতল ও অন্যটি অবতল থাকে।

(c') উত্তল-অবতল লেন্স (convexo-concave lens)—এক্ষেত্রে একটি পৃষ্ঠ উত্তল ও অন্যটি অবতল (অপেক্ষাকৃত বেশি বক্র) থাকে।

অবতল লেন্সের সাধারণ ধর্ম এই যে, ইহার উপর কোন আলোকরশ্মিগুচ্ছ আপতিত হইলে প্রতিসরণের পর উহা অধিকতর বিভেদমুখী বা অপসারী হয়। এইজন্য অবতল লেন্সকে অপসারী লেন্স (divergent lens) বলা হইয়া থাকে।

লেন্সের কোন পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ (radius of curvature).--লেন্সের প্রত্যেক পৃষ্ঠেরই নির্দিষ্ট কেন্দ্র ও নির্দিষ্ট ব্যাসার্ধ আছে। চিত্র ৬৩তে কেন্দ্র, ব্যাসার্ধ ইত্যাদি চিত্রের সাহায্যে বুঝান হইয়াছে। সমতল পৃষ্ঠকে একটি অসীম (infinite) ব্যাসার্ধের গোলকপৃষ্ঠ বলা যাইতে পারে।



চিত্র ৬৩

লেন্সের প্রধান অক্ষ (principal axis).—কোন লেন্সের দুই পৃষ্ঠের বক্রতার কেন্দ্রদ্বয় যে সরলরেখায় থাকে উহাকে ঐ লেন্সের প্রধান অক্ষ বলা হয়।

লেন্সের প্রধান ছেদ (principal section).—লেন্সের প্রধান অক্ষের মধ্য দিয়া একটি সমতল কল্পনা করা হইলে, ঐ সমতল দ্বারা লেন্সটির যে ছেদ পাওয়া যাইবে

উহাকে লেন্সের প্রধান ছেদ বলা হয়, অর্থাৎ লেন্সের প্রধান ছেদ প্রধান অক্ষের মধ্য দিয়া যাইবে।

৬২। লেন্সের আলোককেন্দ্র (optical centre):—চিত্র ৬৪ দেখ। একটি গোলকীয় উত্তল লেন্সের ডান ও বাম পৃষ্ঠের বক্রতার কেন্দ্র যথাক্রমে C_1 ও C_2 বিন্দুতে অবস্থিত। ডান দিকের পৃষ্ঠকে প্রথম পৃষ্ঠ ও বাম দিকের পৃষ্ঠকে দ্বিতীয় পৃষ্ঠ বলা যাক্। প্রথম পৃষ্ঠের উপর Q একটি বিন্দু হইলে C_1Q প্রথম পৃষ্ঠের একটি ব্যাসার্ধ হইবে। মনে কর, C_2R হইল দ্বিতীয় পৃষ্ঠের একটি ব্যাসার্ধ এবং ইহা C_1Qর

চিত্র ৬৪

সমান্তরাল। ব্যাসার্ধ মাত্রই বৃত্তীয় পৃষ্ঠের উপর লম্ব থাকে। স্তুতরাং Q ও R বিন্দুদ্বয়ে ঐ দুইটি পৃষ্ঠে দুইটি স্পর্শক (tangent) টানা হইলে উহারাও পরস্পরের সমান্তরাল হইবে। এখন ধর যেন, PQ এমন একটি আলোকরশ্মি যাহা Q বিন্দুতে লেন্সের প্রথম পৃষ্ঠের উপর আপতিত হইয়া QR পথে লেন্সের মধ্য দিয়া প্রতিসৃত হইয়া RS পথে পুনঃ বায়ুতে বহির্গত হয়। এক্ষেত্রে রশ্মিটির প্রতিসরণ একটি সমান্তরাল পৃষ্ঠবিশিষ্ট কাঁচের স্ল্যাবের মধ্য দিয়া আলোর যেরূপে প্রতিসরণ হয় ঐরূপে হইবে। তাহা হইলে RS ও PQ পরস্পরের সমান্তরাল হইবে। মনে করে যে, QR প্রধান অক্ষ C_1C_2কে O বিন্দুকে ছেদ করে। বহির্গত রশ্মি RS, PQর তুলনায় পার্শ্ব দিকে কিছুটা সরিয়া যাইবে। কিন্তু, লেন্সটি খুব সরু (thin) হইলে এই পার্শ্বসরণের পরিমাণ নগণ্য হইবে।

O বিন্দুর বৈশিষ্ট্য।—C_1O, C_2O একই রেখায়, OQ এবং OR একই রেখায়, C_1Q, এবং C_2R সমান্তরাল। স্তুতরাং C_1QO এবং C_2RO ত্রিভুজদ্বয় পরস্পরের সদৃশ।

$$\therefore \quad \frac{C_1Q}{C_2R}=\frac{C_1O}{C_2O} \qquad \cdots \qquad \cdots \qquad \cdots \qquad (১)$$

মনে কর, C_1C_2 রেখা প্রথম ও দ্বিতীয় পৃষ্ঠকে যথাক্রমে A_1 ও A_2 বিন্দুতে ছেদ করে। উভয়ই একই পৃষ্ঠের ব্যাসার্ধ বলিয়া, $C_1Q=C_1A_1$, এবং $C_2R=C_2A_2$।

$$\therefore \quad \text{সমীকরণ (১) হইতে,} \quad \frac{C_1A_1}{C_2A_2}=\frac{C_1O}{C_2O}=\frac{C_1A_1-C_1O}{C_2A_2-C_2O}=\frac{OA_1}{OA_2} \qquad \cdots (২)$$

C_1A_1 = প্রথম পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ = r_1 (মনে কর) এবং C_2A_2 = দ্বিতীয় পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ = r_2 (মনে কর)।

সুতরাং, $\frac{C_1A_1}{C_2A_2} = \frac{OA_1}{OA_2} = \frac{r_1}{r_2}$, [সমীকরণ (২) হইতে] ... (৩)

$\frac{OA_1}{OA_2} = \frac{r_1}{r_2}$ হইতে বুঝা যায় যে, O বিন্দু A_1A_2-কে একটি সদা নির্দিষ্ট অনুপাতে বিভক্ত করে ; কারণ, লেন্সের r_1 এবং r_2র মান ধ্রুব। সুতরাং বলা যায় যে, কোন লেন্সের উপর আপতিত কোন রশ্মি, উহার আপতন দিক্ হইতে বিচ্যুত না হইয়া লেন্সের মধ্য দিয়া গিয়া অপর পৃষ্ঠ হইতে বহির্গত হইলে, ঐ রশ্মিটি একটি ধ্রুব বিন্দু Oর মধ্য দিয়া যাইবে। এই স্থির বা ধ্রুব বিন্দুটিকে লেন্সের কেন্দ্র (বা আলোককেন্দ্র) বলা হয়। মনে রাখিবে যে, লেন্সের কেন্দ্র ও উহার কোন পৃষ্ঠের বক্রতার কেন্দ্র এক জিনিষ নহে।

বিশেষ দ্রষ্টব্য : আলোককেন্দ্রের মধ্য দিয়া গেলে রশ্মির দিক্‌বিচ্যুতি হয় না বটে, তবে উহার পার্শ্বসরণ ঘটে। কিন্তু লেন্স সরু* হইলে এই পার্শ্বসরণও খুব সামান্য হয়। সুতরাং সরু লেন্সের বেলা আমরা বলিতে পারি যে, লেন্সের আলোককেন্দ্র বা কেন্দ্র দিয়া গেলে কোন রশ্মি দিক্‌বিচ্যুতি বা সরণ কোনটিরই অধীন হয় না, উহা সোজা আপন পথে চলিয়া যায়।

লেন্সের কেন্দ্র বা আলোককেন্দ্রের অবস্থান।—উপরোক্ত সমীকরণ (৩) হইতে, $\frac{OA_1}{OA_2} = \frac{r_1}{r_2}$। $\therefore \frac{OA_1}{OA_1 + OA_2} = \frac{r_1}{r_1 + r_2}$; অর্থাৎ, $OA_1 = (OA_1 + OA_2)\frac{r_1}{r_1 + r_2}$ = (লেন্সের বেধ, t) $\times \frac{r_1}{r_1 + r_2}$

$$= t \times \frac{r_1}{r_1 + r_2} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (৪)$$

* সরু লেন্স—এই পুস্তকে কেবলমাত্র সরু লেন্স-এর কথাই আলোচনা করা হইয়াছে। যে লেন্সের প্রধান অক্ষ বরাবর বেধ লেন্সটির ফোকাস্-দূরত্বের তুলনায় নগণ্য উহাকে সরু, পাতলা বা ক্ষীণ লেন্স বলে। এইরূপ লেন্সে চিত্র ৬৪তে বর্ণিত A_1 এবং A_2 বিন্দু এবং আলোককেন্দ্র O খুবই সন্নিকট হয়। পরে দেখিবে সরু লেন্সের নানা বিষয়ের অবতারণা যে সমুদয় স্থলে করা হইয়াছে ঐসব ক্ষেত্রে লেন্সের বেধ হিসাবে ধরা হয় নাই, অর্থাৎ A_1, A_2 এবং O বিন্দুগুলি একই স্থানে অবস্থিত ধরা হইয়াছে। অর্থাৎ আপাতনরশ্মি O-বিন্দু অভিমুখী হইলে বহির্গমন ঐ O-বিন্দুর মধ্য দিয়া একই সরলরেখায় হয় ধরা হইয়াছে। প্রধান অক্ষ বরাবর লেন্সের বেধ ধর্তব্য না হইলে অন্য স্থলেও উহা ধরা উচিত নয়। তাই সরু লেন্সে আপাতনবিন্দুর ও বহির্গমনবিন্দুর অবস্থান একই ধরা হয়।

অনুরূপভাবে প্রমাণ করা যায় যে, $OA_2 = t \times \frac{r_2}{r_1 + r_2}$ ... ... (৫)

$r_1 = r_2$ হইলে, অর্থাৎ লেন্সটি সম-উত্তল বা সম-অবতল হইলে, লেন্সের কেন্দ্র বা আলোককেন্দ্র এবং উ জ্যামিতিক বিন্দুতে
ঐরূপক্ষেত্রে, $OA_1 = t/2$ এবং $OA_2 = t/2$ হয়।

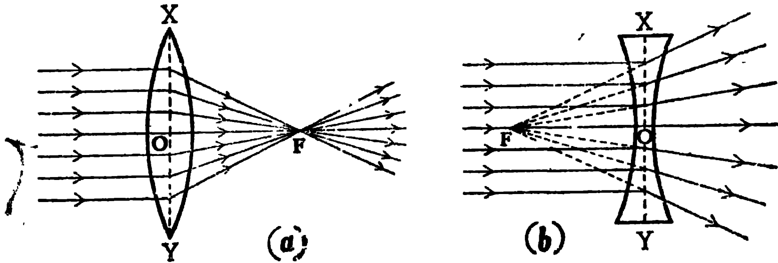
দ্রষ্টব্য ঃ আলোককেন্দ্র লেন্স বিশেষে উহার ভিতরেও হইতে পারে, আবার বাহিরেও হইতে পারে। কোন্ পৃষ্ঠ কেমন তাহার উপরই ইহা নির্ভর করিবে।

লেন্সের আলোকতল (optical plane)—আলোককেন্দ্রের মধ্য দিয়া লেন্সের প্রধান অক্ষের উপর উল্লম্বভাবে যে তল কল্পনা করা যায় উহাকে লেন্সের আলোকতল বলে।

লেন্সের ফোকাস্তল (focal plane).—লেন্সের প্রধান অক্ষের উপর ফোকাস্দ্বয়ের যে-কোন একটিতে আড়ভাবে যে তল কল্পনা করা যায় উহাকে ফোকাস্তল বলে। ফোকাস্তল ও আলোকতল পরস্পরের সমান্তরাল হয়।

৬৩। লেন্সসম্বন্ধে কয়েকটি গুরুত্বপূর্ণ বিষয়ের সংজ্ঞা :—

লেন্সের প্রধান ফোকাস্ (principal focus)—একটি লেন্সের দুইটি প্রধান ফোকাস্ থাকে। ইহার একটিকে প্রথম প্রধান ফোকাস্ ও অন্যটিকে দ্বিতীয় প্রধান ফোকাস্ বলা হয়। দ্বিতীয় প্রধান ফোকাস্কে শুধু প্রধান ফোকাস্ও বলা হইয়া থাকে।



চিত্র ৬৫

উত্তল লেন্স উহার প্রধান অক্ষের বরাবর আপতিত সমান্তরাল সরু রশ্মিগুচ্ছের রশ্মিগুলিকে প্রধান অক্ষের উপরিস্থ এক নির্দিষ্ট বিন্দুতে মিলিত করে [চিত্র ৬৫, (a)] অবতল লেন্সের ক্ষেত্রে, প্রধান অক্ষের বরাবর আপতিত সমান্তরাল সরু রশ্মিগুচ্ছের রশ্মিগুলি লেন্সের মধ্য দিয়া যাইবার পর অপর পার্শ্বে অপসারী হয়। লেন্সের যে পার্শ্ব হইতে উহারা আসিতেছে ঐ পার্শ্বে প্রধান অক্ষের উপরিস্থ কোন নির্দিষ্ট বিন্দু

করা হয়। বস্তুতঃ প্রতিসরণ পর পর দুই পৃষ্ঠেই ঘটে, কিন্তু ঐরূপ না ধরিয়া মো. প্রতিসরণ আলোকতলে সংঘটিত হয় বলিয়া ধরা হয়।

(২) লেন্সের আলোককেন্দ্রাভিমুখী এক রশ্মি। কোন দিক্‌বিচ্যুতি বা পার্শ্বসরণ ব্যতিরেকেই এই রশ্মি লেন্সের মধ্য দিয়া আপন সোজা পথে চলিয়া যায়।

৬৫। **লেন্সসংক্রান্ত ব্যবহৃত চিহ্নের নিয়ম** (Rules regarding signs):—

এই গ্রন্থে দিক্‌সংক্রান্ত চিহ্নগুলি পুরাতন নিয়ম* অনুযায়ী ধরা হইয়াছে। এই নিয়ম অনুযায়ী—

(ক) আলোককেন্দ্রকে একটি মূল বিন্দু ধরিয়া উহা হইতে প্রধান অক্ষ ধরিয়া দূরত্ব মাপিতে হইবে।

(খ) ঐ কেন্দ্র হইতে আলোক উৎসের দিকে, অর্থাৎ আলোকের গতির উল্টা দিকের দূরত্বগুলিকে ধন (+) ধরিতে হইবে এবং ঐ কেন্দ্র হইতে আলোর গতির দিকের দূরত্বগুলিকে ঋণ (−) ধরিতে হইবে।

(গ) প্রধান অক্ষের উপরি দিকের দূরত্বগুলিকে ধন এবং নীচের দিকের দূরত্বগুলিকে ঋণ ধরিতে হইবে।

সতর্কতা: লেন্সের সংকেতসূত্রের (formula) সাহায্যে অংক কষিবার সময় কোন রাশির নিশ্চিত মান দেওয়া থাকিলে তবেই উহার পূর্বে যথাযোগ্য (+) বা (−) চিহ্ন ব্যবহার করিবে। অংকতে রাশির ঐরূপ মান দেওয়া না থাকিলে সংকেতসূত্রের কোন রাশির চিহ্ন পরিবর্তন করিও না।

উপরে উল্লেখিত চিহ্নসংক্রান্ত নিয়ম অনুযায়ী বিভিন্ন লেন্সের ফোকাস্‌দূরত্ব ধন হইবে কি ঋণ হইবে তাহার নির্দেশ—

(ক) **উত্তল লেন্স।**—চিত্র ৬৫, (a) দেখ। এখানে F' হইল দ্বিতীয় প্রধান ফোকাস্‌, OF' হইল ফোকাস্‌দূরত্ব। এই ফোকাস্‌দূরত্ব আলোককেন্দ্র হইতে আলোর

---

* **নূতন নিয়ম**—এই নিয়মগুলি লণ্ডনের ফিজিক্যাল সোসাইটি ১৯৩৪ খৃষ্টাব্দে সুপারিশ করিয়াছিলেন। নিয়মগুলি এইরূপ—

(১) বাস্তব বা সদ্‌ প্রতিবিম্বে যাইতে অথবা বাস্তব প্রতিবিম্ব হইতে আসিতে আলোক যে পথ অতিক্রম করে উহাকে ধন (+) বলিয়া ধরিতে হইবে।

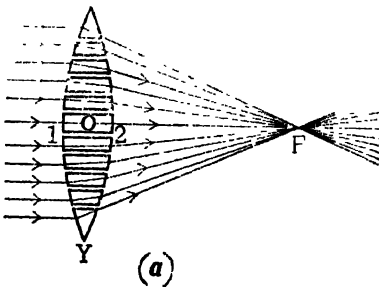
(২) অবাস্তব বা অসদ্‌ প্রতিবিম্বের দিকে যাইতেছে এরূপ মনে হইলে বা ঐরূপ প্রতিবিম্ব হইতে আসিতেছে এরূপ বোধ হইলে আলোক যে পথ অতিক্রম করিবে কল্পনা করা হয় উহাকে ঋণ (−) বলিয়া ধরিতে হইবে।

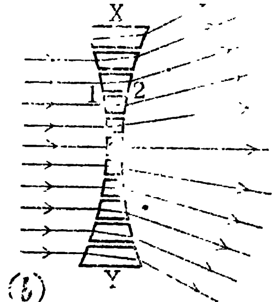
গতির দিকে বলিয়া এই ফোকাস্‌দূরত্ব ঋণ (−) হইবে। তাই এই পুস্তকে ব্যবহৃত নিয়ম অনুযায়ী অভিসারী লেন্সের ফোকাস্‌দূরত্ব ঋণ ধরা হইবে।

(খ) **অবতল লেন্স।**—চিত্র ৬৫, (*b*) দেখ। এখানে F' হইল দ্বিতীয় প্রধান ফোকস্, OF' হইল ফোকাস্‌দূরত্ব। আলোককেন্দ্র হইতে এই দ্বিতীয় প্রধান ফোকাস্ আলোর গতির বিপরীত দিকে বলিয়া এই পুস্তকে ব্যবহৃত নিয়ম অনুযায়ী ফোকাস্-দূরত্ব এই লেন্সের বেলা ধন (+) ধরা হইবে, অর্থাৎ অপসারী লেন্সের ফোকাস্‌দূরত্ব ধন ধরিতে।

৬৬। উত্তল লেন্সের অভিসারী ধর্ম এবং অবতল লেন্সের অপসারী ধর্মের সরল ব্যাখ্যা।

উত্তল লেন্সের অভিসারী ধর্ম।—মনে কর XY একটি উত্তল লেন্স এবং OF ইহার প্রধান অক্ষ [চিত্র ৬৭, (*a*)]। যদিও প্রকৃতপক্ষে লেন্সের পৃষ্ঠদ্বয় মসৃণ এবং অবচ্ছেদহীন তবু ইহাকে দুই প্রস্ত কর্তিতশীর্ষ প্রিজ্‌মের এক সমবায় বলিয়া মনে করা চলে। কেন্দ্রীয় অংশটি হইবে একটি কাঁচের আয়তাকার স্ল্যাব। ইহার উপরে





চিত্র ৬৭

এবং নীচে পর পর একই রকমের কতগুলি প্রিজ্‌ম সাজান আছে। একটি প্রিজ্‌মের উপর আর-একটি বসান। সব কয়টি প্রিজ্‌মেরই ভূমি প্রধান অক্ষের দিকে মুখ করা এবং প্রধান অক্ষ হইতে যে প্রিজ্‌ম যত দূরে উহার প্রতিসরণ-কোণ তত বড়। প্রিজ্‌মের প্রতিসরণ-কোণ বড় হইলে রশ্মির দিক্‌বিচ্যুতি অধিক হয়। প্রধান অক্ষের সমান্তরালভাবে কেন্দ্রীয় স্ল্যাব বরাবর যে রশ্মি যাইবে উহা সোজা পথে স্ল্যাবটি অতিক্রম করিবে। উহার সমান্তরাল অন্য প্রত্যেক রশ্মি, যে প্রিজ্‌মেই পড়ুক না কেন, উহা প্রতিসৃত হইয়া অপর পারে প্রধান অক্ষ OF-এর দিকে

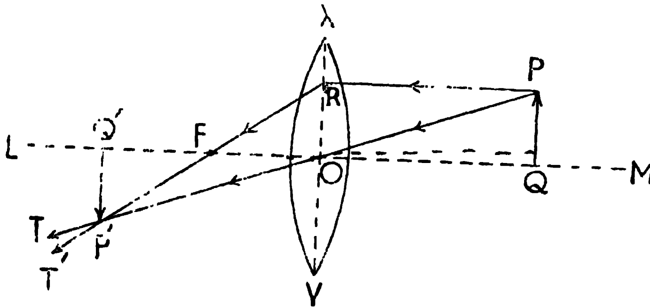
বেঁকিয়া আসিবে। নিকটের রশ্মি হইতে দূরের রশ্মি বেশি বেঁকিবে, কারণ দূরের প্রিজ্‌মের প্রতিসরণ-কোণ বড়। তাহা হইলে বুঝিতেছে যে, কোন আপতিত সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছের রশ্মিগুলি এইরূপ প্রিজ্‌ম-সমবায়ের দ্বারা অর্থাৎ একটি উত্তল লেন্স দ্বারা প্রতিসৃত হইয়া লেন্সের পরপারের একটি নির্দিষ্ট বিন্দুতে মিলিত হইতে পারে।

অবতল লেন্সের অপসারী ধর্ম।—চিত্র ৬৭, (b) দেখ। এক্ষেত্রে যে প্রিজ্‌ম প্রধান অক্ষ হইতে যত দূরে থাকিবে উহার প্রতিসরণ-কোণ তত ছোট হইবে। কিন্তু প্রিজ্‌মগুলির ভূমি থাকিবে প্রধান অক্ষের বিপরীত দিকে। এইজন্য কোন সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছের রশ্মিগুলি ইহার মধ্য দিয়া প্রতিসরণের পর প্রধান অক্ষের দিক্ হইতে প্রিজ্‌মগুলির ভূমির দিকে বেঁকিয়া যাইবে। সুতরাং বহির্গত রশ্মিগুচ্ছ অপসারী হইবে।

অতএব আমরা বলিতে পারি যে, এক লেন্স কতগুলি কর্তিতশীর্ষ প্রিজ্‌মের এক সমবায়ের মত কাজ করে।

৬৭। লেন্স দ্বারা গঠিত কোন নির্দিষ্ট আকারের বস্তুর প্রতিবিম্ব :—

লেন্সের প্রধান অক্ষের উপর উল্লম্বভাবে অবস্থিত একটি নির্দিষ্ট আকারের বস্তুর কথা বিবেচনা করা যাক্। এখানে সরলরেখার দৈর্ঘ্য দ্বারা বস্তুর আকার ধরা হইবে।

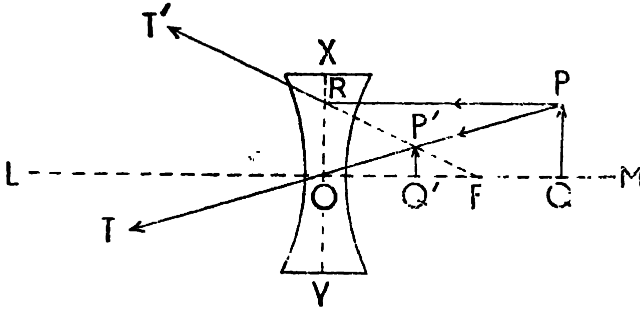


চিত্র ৬৮

(ক) **উত্তল লেন্সের ক্ষেত্রে।**—মনে কর যে, XOY একখানি সরু উভ-উত্তল লেন্সের আলোকতল এবং উহার প্রধান অক্ষ LOM (চিত্র ৬৮)। PQ বস্তু প্রধান অক্ষের উপর উল্লম্বভাবে অবস্থিত। PQ বস্তুটিকে অসংখ্য বস্তুবিন্দুর এক সমবায় বলিয়া মনে করা যাইতে পারে। একটি প্রান্তিক বিন্দুর (P) কথা বিবেচনা করা যাক্। প্রধান অক্ষ LOM-এর সমান্তরাল একটি রশ্মি (PR) লেন্সের মধ্য দিয়া প্রতিসৃত হইয়া দ্বিতীয়

ফোকাস্ Fএর মধ্য দিয়া যায়। আলোককেন্দ্র Oর মধ্য দিয়া যাওয়ায় PO রশ্মি দিক্‌বিচ্যুতি ও সরণ ব্যতীত লেন্সের মধ্য দিয়া চলিয়া যাইবে। বহির্গত রশ্মিদুইটি পরস্পরকে প্রকৃতই P' বিন্দুতে ছেদ করে। অতএব P' হইবে Fর সদ্ প্রতিবিম্ব। P' হইতে প্রধান অক্ষের উপর $P'Q'$ লম্ব টান। তাহা হইলে $P'Q'$ হইবে PQ বস্তুর সম্পূর্ণ প্রতিবিম্ব। এই ক্ষেত্রে দেখিতেছ প্রতিবিম্বটি উপর-নীচে উল্টান ভাবে হয়।

(খ) মনে কর, XOY একটি সরু অবতল লেন্সের আলোকতল এবং LOM ঐ লেন্সের প্রধান অক্ষ (চিত্র ৬৯)। PQ একটি বস্তু। ইহা প্রধান অক্ষের উপর



চিত্র ৬৯

খাড়াভাবে আছে। PQ বহু বস্তুবিন্দুর সমন্বয়। শীর্ষস্থ বিন্দু Pর কথা বিবেচনা করা যাক্। PR হইল প্রধান অক্ষের (LOM) সমান্তরাল একটি রশ্মি। প্রতিসৃত হইয়া ইহা প্রধান অক্ষ হইতে বিভেদমুখী হইয়া অগ্রসর হইবে। বহির্গত রশ্মিটির দিক্‌কে পশ্চাৎ দিকে বর্ধিত করিলে উহা প্রধান অক্ষকে দ্বিতীয় ফোকাসে ছেদ করিবে। রশ্মি PO আলোককেন্দ্র Oর মধ্য দিয়া যাইতেছে বলিয়া উহা দিক্‌বিচ্যুতি ও সরণ ব্যতীতই লেন্সের মধ্য দিয়া সোজা আপন পথে চলিয়া যাইবে। এই দুইটি বহির্গত রশ্মি (একটি পশ্চাৎ দিকে বর্ধিত) P' বিন্দুতে পরস্পরকে ছেদ করে। অতএব ইহারা P' হইতে আসিতেছে বলিয়া বোধ হইবে। সুতরাং P' হইবে Pর অসদ্ প্রতিবিম্ব। P' হইতে প্রধান অক্ষের উপর $P'Q'$ উল্লম্ব অংকিত করিলে $P'Q'$ হইবে PQর অসদ্ প্রতিবিম্ব। এক্ষেত্রে প্রতিবিম্ব অবাস্তব এবং বস্তুটির মতই খাড়াভাবে হইতেছে।

৬৮। প্রতিবিম্ব গঠনকালে বস্তুদূরত্ব, প্রতিবিম্বদূরত্ব এবং লেন্সের ফোকাস্‌দূরত্বের পারস্পরিক সম্পর্ক :—মনে কর, বস্তুদূরত্বকে u প্রতীক দ্বারা, প্রতিবিম্বদূরত্বকে v দ্বারা এবং ফোকাস্‌দূরত্বকে f দ্বারা ব্যক্ত করা হইল।

(ক) উত্তল লেন্সের সংকেতসূত্র।—XOY (চিত্র ৬৮) একখানি সরু উভ-উত্তল লেন্সের আলোকতল। ইহার আলোককেন্দ্র O এবং প্রধান অক্ষ LOM। PQ হইল প্রধান অক্ষের উপর খাড়াভাবে অবস্থিত একটি বস্তু। অনুচ্ছেদ ৬৭ (ক)তে বর্ণিত উপায়ে PQর প্রতিবিম্ব $P'Q'$ (সদ্ এবং উল্টান হইবে) অংকিত কর।

PQO এবং $P'Q'O$ ত্রিভুজদুইটি সদৃশকোণী (equiangular) বলিয়া পরস্পরের সদৃশ (similar) হইবে।

$$\therefore \quad \frac{PQ}{P'Q'}=\frac{OQ}{OQ'} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (১)$$

আবার, $P'Q'F$ এবং ROF ত্রিভুজদ্বয়ও সদৃশকোণী বলিয়া পরস্পরের সদৃশ।

$$\therefore \quad \frac{P'Q'}{RO}=\frac{FQ'}{OF} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (২)$$

উপরোক্ত সমীকরণ (১) ও (২) হইতে, $\frac{PQ}{P'Q'}\times\frac{P'Q'}{RO}=\frac{OQ}{OQ'}\times\frac{FQ'}{OF}$।

কিন্তু, $PQ=RO$. $\quad \frac{OQ}{OQ'}\times\frac{FQ'}{OF}=1, \quad (৩)$

বা, $\frac{OQ\times(OQ'-OF)}{OQ'\times OF}=1$; $OQ=u$, $OQ'=v$; $OF=f$, ধরা থাক্।

$\therefore \quad \frac{u(OQ'-OF)}{(-v)\times(-f)}=1$, (দিক্‌চিহ্নের নিয়ম অনুযায়ী);

বা, $\frac{u\{(-v)-(-f)\}}{vf}=\frac{u(f-v)}{vf}=\frac{uf-uv}{vf}=1$;

বা, $vf=uf-uv \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (৪)$

এই সমীকরণের দুই দিকই একই রাশি uvf দ্বারা ভাগ করিলে, $\frac{1}{u}=\frac{1}{v}-\frac{1}{f}$;

বা, $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (৫)$

(খ) অবতল লেন্সের সংকেতসূত্র।—XOY (চিত্র ৬৯) একটি সরু উভ-অবতল লেন্সের আলোকতল। O ইহার আলোককেন্দ্র এবং LOM প্রধান অক্ষ। PQ বস্তুটি প্রধান অক্ষের উপর লম্বভাবে অবস্থিত। অনুচ্ছেদ ৬৭, (খ)-তে বর্ণিত উপায়ে

PQর প্রতিবিম্ব $P'Q'$ (অসদ্ এবং খাড়া হইবে) অংকিত কর। তাহা হইলে, PQO ও $P'Q'O$ ত্রিভুজদ্বয় সদৃশকোণী বলিয়া পরস্পরের সদৃশ হইবে।

$$\therefore \quad \frac{PQ}{P'Q'}=\frac{OQ}{OQ'} \quad \cdots \quad \cdots \quad (১)$$

আবার, ROF ও $P'Q'F$ ত্রিভুজদ্বয় সদৃশকোণী বলিয়া পরস্পরের সদৃশ।

$$\therefore \quad \frac{RO}{P'Q'}=\frac{OF}{Q'F} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (২)$$

কিন্তু, $RO=PQ$।

$\therefore$ উপরোক্ত সমীকরণ (১) হইতে, $\frac{OQ}{OQ'}=\frac{OF}{Q'F}=\frac{OF}{OF-OQ'}$ $\cdots$ (৩)

$OQ=u$; $OQ'=v$ এবং $OF=f$, ধরা যাক্।

$\therefore$ সমীকরণ (৩) হইতে, $\frac{u}{v}=\frac{f}{f-v}$, [u, v, f সব কয়টিই এক্ষেত্রে ধন $(+)$] ;

বা, $uf-uv=vf$। এই সমীকরণের দুই দিকই একই রাশি $u\,v\,f$ দ্বারা ভাগ করিয়া,

$$\frac{1}{v}-\frac{1}{f}=\frac{1}{u}\text{ ; বা, } \frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f} \quad \cdots \quad \cdots \quad (৪)$$

দ্রষ্টব্য : লক্ষ্য করিবার বিষয় এই যে, লেন্স উত্তলই হউক কি অবতলই হউক, প্রতিবিম্ব বিবর্ধিতই (magnified) হউক কি সঙ্কুচিতই (reduced) হউক, সদ্ই হউক কি অসদ্ই হউক, সোজাই হউক কি উল্টাই হউক সর্বদা একই সংকেতসূত্র $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$ প্রযোজ্য হইবে। সুতরাং সরু লেন্সের সাধারণ সংকেতসূত্র হইল, $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$।

৬৯। প্রতিবিম্বের রৈখিক বিবর্ধন (linear magnification) :—

রৈখিক বিবর্ধন, $m=\frac{\text{প্রতিবিম্বের রৈখিক আকার*}}{\text{বস্তুর রৈখিক আকার}}$।

(ক) উত্তল লেন্সের জন্য (চিত্র ৬৮), $m=\frac{\text{প্রতিবিম্বের আকার}}{\text{বস্তুর আকার}}=\frac{P'Q'}{PQ}$

$$=\frac{OQ'}{OQ}=\frac{v}{u} \quad \cdots \quad (১)$$

(খ) অবতল লেন্সের জন্য (চিত্র ৬৯), $m=\frac{\text{প্রতিবিম্বের আকার}}{\text{বস্তুর অকার}}=\frac{P'Q'}{PQ}$

$$=\frac{OQ'}{OQ}=\frac{v}{u} \quad \cdots \quad (১, ক)$$

* এখানে আকার বলিতে দৈর্ঘ্য, প্রস্থ বা বেধ বলা হইয়াছে।

দ্রষ্টব্য ঃ সমীকরণ (১) এবং (১, ক) হইতে স্পষ্টই বোঝা যাইতেছে যে, উত্তল ও অবতল উভয় লেন্সের ক্ষেত্রেই রৈখিক বিবর্ধন একই সংকেতসূত্র দ্বারা সূচিত।

রৈখিক বিবর্ধনের চিহ্ন (ধন বা ঋণ).—চিত্র ৬৮ হইতে বোঝা যাইতেছে যে, প্রতিবিম্ব ($P'Q'$) উল্টা হইলে, v ঋণচিহ্নসম্পন্ন হইবে ; সুতরাং লেন্সের ক্ষেত্রে $\frac{v}{u}$ ঋণ হইলে অর্থাৎ m ঋণ হইলে প্রতিবিম্ব উল্টান বলিয়া বুঝিতে হইবে।

চিত্র ৬৯-এ দেখা যাইতেছে যে, প্রতিবিম্ব ($P'Q'$) সোজা আছে এবং v ধন চিহ্নের আছে। সুতরাং লেন্সের ক্ষেত্রে, $\frac{v}{u}$ ধন হইলে অর্থাৎ m ধন হইলে প্রতিবিম্ব সোজা বলিয়া বুঝিতে হইবে।

mএর অন্যান্য সম্পর্ক—

(১) $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$ । $\therefore$ $\frac{1}{v}\times v-\frac{1}{u}\times v=\frac{1}{f}\times v$; বা, $1-\frac{v}{u}=\frac{v}{f}$;

বা, $1-m=\frac{v}{f}$; বা, $m=1-\frac{v}{f}=\frac{f-v}{f}$ .. .. (২)

(২) $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$ । $\therefore$ $\frac{1}{v}\times u-\frac{1}{u}\times u=\frac{u}{f}$; বা, $\frac{u}{v}-1=\frac{u}{f}$;

বা, $\frac{1}{m}-1=\frac{u}{f}$; বা, $\frac{1}{m}=1+\frac{u}{f}=\frac{u+f}{f}$; ... (৩)

বা, $m=\frac{f}{u+f}$ ... ... (৪)

৭০। বস্তুর বিভিন্ন অবস্থানের জন্য লেন্স কর্তৃক গঠিত প্রতিবিম্বের অবস্থান ও প্রকৃতি ঃ—জ্যামিতিক আলোকবিদ্যায় লেন্স কর্তৃক গঠিত প্রতিবিম্বের অবস্থান ও প্রকৃতি কি হইবে বুঝিবার জন্য বস্তুকে লেন্সের প্রধান অক্ষের উপর নিম্নের ছয়টি বিশেষ অবস্থানে রাখা হয়—(১) অসীম দূরত্বে, (২) অসীম দূরত্ব এবং $2f$ দূরত্বের মাঝামাঝি দূরত্বে, (৩) $2f$ দূরত্বে, (৪) $2f$ দূরত্ব এবং f দূরত্বের মাঝামাঝি দূরত্বে, (৫) f দূরত্বে এবং (৬) আলোককেন্দ্র ও fএর মাঝামাঝি দূরত্বে।

এই সকল ক্ষেত্রে প্রতিবিম্বের অবস্থান, আকার ও প্রকৃতি জানা থাকিলে, বস্তুটিকে অসীম দূরত্ব হইতে ধীরে ধীরে আলোককেন্দ্রের দিকে লইয়া আসিলে প্রতিবিম্বের অবস্থান, আকার ও প্রকৃতিতে কি পরিবর্তন ঘটিবে তাহা বুঝা যায়।

(ক) লেন্সের সূত্রের সাহায্যে.—

উত্তল লেন্স : (১) $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$; বা $\frac{1}{v}-\frac{1}{f}=\frac{1}{u}$; উত্তল লেন্সের ক্ষেত্রে f ঋণ

হইবে। তাহা হইলে, $\frac{1}{v}+\frac{1}{f}=\frac{1}{u}$। ১ম অবস্থানে, $u=\infty$; তাহা হইলে $v=-f$। ∴ প্রতিবিম্ব দ্বিতীয় প্রধান ফোকাসে গঠিত হইবে। রৈখিক বিবর্ধন $m=\frac{v}{u}=\frac{-f}{\infty}$। অর্থাৎ প্রতিবিম্বের অসীম সংকোচন ঘটিবে এবং উহা সদ্ ও উল্টানো হইবে।

(২) $\frac{1}{v}=\frac{1}{u}-\frac{1}{f}$। $u=\infty$ হইলে, $v=-f$ হয়। $u=2f$ হইলে, $v=-2f$ হইবে।

সুতরাং এক্ষেত্রে প্রতিবিম্ব লেন্সের অন্য দিকে দ্বিতায় প্রধান ফোকাস্ এবং উহার দ্বিগুণ দূরত্বের মধ্যে থাকিবে। বস্তু অসীম দূরত্বে থাকিলে, $m=-\frac{f}{\infty}=0$ হইবে এবং বস্তু $2f$ দূরত্বে থাকিলে, $m=\frac{v}{u}=-\frac{2f}{2f}=-1$ হইবে। সুতরাং প্রতিবিম্ব সদ্ ও উল্টান হইবে। বস্তুর প্রকৃত অবস্থান অনুযায়ী, ইহার আকার বস্তুর সমান আকার হইতে অসীম সংকুচিত আকার পর্যন্ত হইতে পারে।

(৩) $\frac{1}{v}=\frac{1}{u}-\frac{1}{f}$। $u=2f$ হইলে, $v=-2f$ হইবে এবং $m=-\frac{2f}{2f}=-1$ হইবে ; অর্থাৎ, প্রতিবিম্ব সদ্, উল্টান এবং বস্তুর আকারের সমান আকারের হইবে।

(৪) $\frac{1}{v}=\frac{1}{u}-\frac{1}{f}$। $u=2f$ হইলে, $v=-2f$ হয় এবং $m=-1$ হয়।

আবার, $u=f$ হইলে, $v=\infty$ হয় এবং $m=\frac{\infty}{f}=\infty$ হয়।

সুতরাং এক্ষেত্রে প্রতিবিম্ব $-2f$ এবং অসীম দূরত্বের মধ্যে থাকিবে এবং ইহা সদ্, উল্টানো ও বিবর্ধিত হইবে।

(৫) $\frac{1}{v}=\frac{1}{u}-\frac{1}{f}$। $u=f$ হইলে, $v=\infty$ হয়, এবং $m=\infty$ হয় ; অর্থাৎ এক্ষেত্রে প্রতিবিম্ব অসীম দূরত্বে থাকিবে এবং উহার অনন্ত-বিবর্ধন ঘটিবে (infinite magnification)।

(৬) $\frac{1}{v}=\frac{1}{u}-\frac{1}{f}$। $u<f$ হইলে অর্থাৎ বস্তু আলোককেন্দ্র ও প্রথম প্রধান ফোকাসের মধ্যে থাকিলে v ধন হইবে এবং u হইতে বড় হইবে।

প্রতিবিম্ব অসদ্ ও সোজা হইবে এবং $v>u$ বলিয়া প্রতিবিম্বটি বিবর্ধিত হইবে।

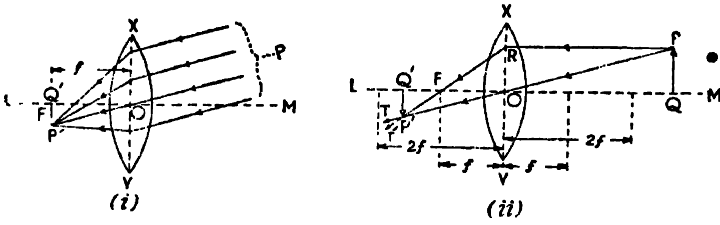
অবতল লেন্স.—এই লেন্সে f ধন। সুতরাং, $\frac{1}{v}=\frac{1}{u}+\frac{1}{f}$। f ধন এবং আলোককেন্দ্র হইতে অসীম দূরত্ব পর্যন্ত u সর্বদাই ধন বলিয়া vও সর্বদা ধন হইবে। অর্থাৎ বাস্তব বস্তুর প্রতিবিম্ব সর্বদাই এই ক্ষেত্রে অসদ্ এবং সোজা হইবে। $u=\infty$ হইলে, $v=f$, এবং $m=\frac{v}{u}=\frac{f}{\infty}=$ অসীম সংকুচিত, হইবে। $u=f$ হইলে, $v=\frac{f}{2}$ হয় এবং $m=\frac{1}{2}$ হইবে। $u>f$ হইলে, $v<\frac{f}{2}$ হইবে। অতএব ইহা স্পষ্টই বুঝা যায় যে, বস্তু অসীম দূরত্ব হইতে ক্রমে লেন্সের আলোকবিন্দু পর্যন্ত লইয়া আসিলে প্রতিবিম্ব ফোকাস্ হইতে আলোকবিন্দু পর্যন্ত আসিবে এবং ইহার বিবর্ধন যথাক্রমে অসীম হইতে বস্তুর সমান পর্যন্ত হইবে।

(খ) জ্যামিতিক অংকনের সাহায্যে.—জ্যামিতিক অংকনের সাহায্যে কোন কোন বস্তুর প্রতিবিম্ব নির্ণয়ের সাধারণ পদ্ধতিটি পূর্বেই দেখান হইয়াছে। চিত্রে ৭০, ৭১ ও ৭২এ উত্তল লেন্সের ক্ষেত্রে এবং চিত্র ৭৩এ অবতল লেন্সের ক্ষেত্রে একটি বস্তুর বিভিন্ন অবস্থানের জন্য উহার প্রতিবিম্ব অংকন করিয়া দেখান হইয়াছে। এই অংকন বর্গরেখ ক্ষেত্রের উপর করিলে গঠিত প্রতিবিম্বের বিবর্ধন নির্ণয় করা খুব সহজ হয়।

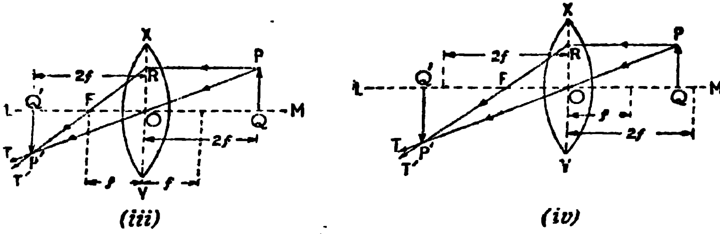
[চিত্র ৭০-৭৩এ ব্যবহৃত প্রতীকগুলির **সাধারণ সূচী** : XOY—আলোকতল ; LOM—প্রধান অক্ষ ; PQ—প্রধান অক্ষের উপর খাড়াভাবে রক্ষিত বস্তু ; O—আলোককেন্দ্র ; F—দ্বিতীয় প্রধান ফোকাস্ ; $P'Q'$—প্রতিবিম্ব ; f—ফোকাস্-দূরত্ব।]

উত্তল লেন্সের ক্ষেত্রে অংকননীতি (চিত্র ৭০, ৭১ ও ৭২).—P হইতে LOMএর সমান্তরালভাবে XOY-তল পর্যন্ত একটি রেখা টান। এই রেখা ও XOYর ছেদ বিন্দুকে R বল। R ও F যুক্ত কর এবং রেখাটি আরও বর্ধিত করিয়া দাও। P এবং O যুক্ত কর এবং রেখাটি বর্ধিত করিয়া RF (বর্ধিত) রেখা স্পর্শ করাও। এই ছেদ বিন্দুকে P' বল। P' হইতে LOM-এর উপর উল্লম্ব টান। ইহার পাদবিন্দুকে Q' বল। $P'Q'$ হইবে PQর প্রতিবিম্ব। প্রতিবিম্বের অবস্থান, আকার ও প্রকৃতি $P'Q'$ হইতে পাওয়া যায়।

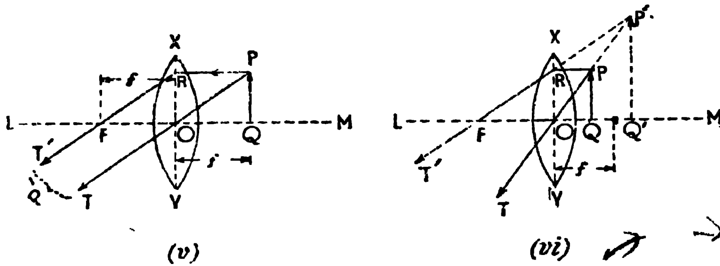
অবতল লেন্সের ক্ষেত্রে অংকননীতি (চিত্র ৭৩).—উত্তল লেন্সের মত। এখানে Rকে Fএর সহিত বিন্দু-বিন্দু রেখা দ্বারা যুক্ত কর এবং এই রেখাটি R হইতে T' পর্যন্ত একটি সরলরেখা দ্বারা বর্ধিত কর। অন্যান্য নিয়ম একই।



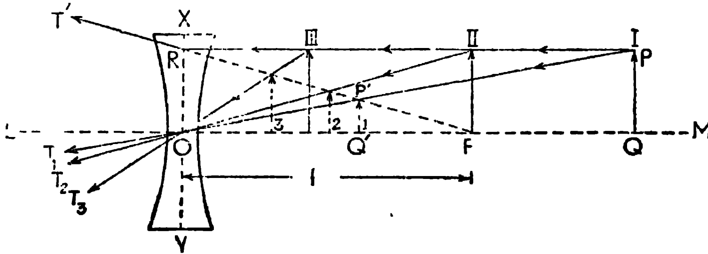
চিত্র ৭০



চিত্র ৭১



চিত্র ৭২



চিত্র ৭৩

এই অংকনগুলি অনুধাবন করিলে নিম্নলিখিত সিদ্ধান্তগুলিতে উপনীত হওয়া যায় :—

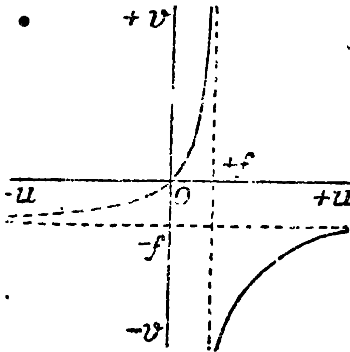
উত্তল লেন্স

চিত্রের নম্বর	বস্তুর অবস্থান	প্রতিবিম্ব			মন্তব্য
		অবস্থান	আকার	প্রকৃতি	
৭০ (*i*)	অসীম দূরত্বে	দূরত্ব f	অসীম সংকুচিত	সদ্, উল্টানো	বস্তু ও প্রতিবিম্বের অবস্থান বিনিময়-যোগ্য
৭০ (*ii*)	অসীম দূরত্ব ও $2f$ দূরত্বের মধ্যে	f ও $2f$ দূরত্বের মধ্যে	সংকুচিত	ঐ	ঐ
৭১ (*iii*)	দূরত্ব $2f$	দূরত্ব $2f$	সমান	ঐ	ঐ
৭১ (*iv*)	$2f$ ও f দূরত্বের মধ্যে	$2f$ ও অসীম দূরত্বের মধ্যে	বিবর্ধিত	ঐ	ঐ
৭২ (*v*)	দূরত্ব f	অসীম দূরত্বে	অসীম বিবর্ধিত	ঐ	ঐ
৭২ (*vi*)	দূরত্ব f ও আলোককেন্দ্রের মধ্যে	বস্তু লেন্সের যে পার্শ্বে আছে ঐ পার্শ্বে	বিবর্ধিত	অসদ্, সোজা	লেন্সকে বিবর্ধক আতস কাঁচ হিসাবে ব্যবহার করা চলে।

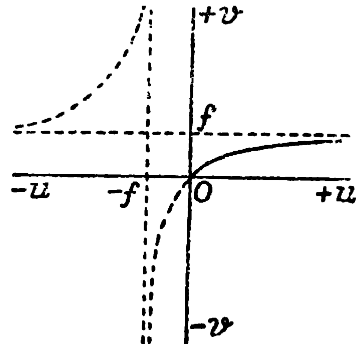
অবতল লেন্স

চিত্রের নম্বর	বস্তুর অবস্থান	অবস্থান	আকার	প্রকৃতি	মন্তব্য
৭৩	অসীম দূরত্বে	দূরত্ব f (বস্তু লেন্সের যেদিকে সেই দিকে)	অসীম সংকুচিত	অসদ, সোজা	
”	অসীম দূরত্ব ও আলোককেন্দ্রের মধ্যে	দূরত্ব f ও আলোককেন্দ্রের মধ্যে (বস্তু লেন্সের যেদিকে আছে সেই দিকে	সংকুচিত	ঐ	

৭১। উত্তল ও অবতল লেন্সের $u-v$ লেখ :—প্রতিবিম্ব সদ্‌ই হউক কি অসদ্‌ই হউক উত্তল এবং অবতল উভয় লেন্সের ক্ষেত্রেই বস্তুদূরত্ব (u) এবং সম্বন্ধীয় প্রতিবিম্ব দূরত্ব (v) জ্যামিতিক অংকনপদ্ধতিতে বা সংকেতসূত্র ব্যবহার করিয়া নির্ণয় করা যায় ইহা পূর্বেই দেখান হইয়াছে। অসদ্ বস্তুর বেলাও u এবং v জানা থাকিলে প্রতিবিম্বের অবস্থান, আকার ও প্রকৃতি জানা যায়, ইহা পূর্বে আলোচনা করা হইয়াছে। u ও v-র সম্পর্ক লেখ-র সাহায্যে দেখাইলে যেরূপ দাঁড়ায় তাহা চিত্র ৭৪-এ উপস্থিত করা হইল। উত্তল ও অবতল উভয় প্রকারের লেন্সের জন্যই $u-v$ লেখ একটি আয়তাকার পরাবৃত্ত (rectangular hyperbola) জাতীয় হইবে। চিত্রে প্রদর্শিত পরাবৃত্তের পূর্ণরেখ অংশগুলি প্রকৃত বা সদ্ বস্তুর জন্য এবং বিন্দু-বিন্দু-রেখ অংশগুলি অসদ্ বস্তুর জন্য।



(ক) উত্তল লেন্স



(খ) অবতল লেন্স

চিত্র ৭৪

৭২। অনুবন্ধী বিন্দুযুগল (বা অনুবন্ধী ফোকাসদ্বয়) (conjugate points or conjugate foci) :—প্রধান অক্ষের এক বিন্দুতে কোন বস্তু রাখিলে এবং ঐ অক্ষের অন্য কোন বিন্দুতে প্রতিবিম্ব গঠিত হইলে ঐ বিন্দুদ্বয়কে অনুবন্ধী ফোকাসদ্বয় বা অনুবন্ধী বিন্দুযুগল বলা হয়। আলোকরশ্মি বিপরীত যাত্রায় আপন পথেই প্রত্যাগমন করে বলিয়া প্রতিবিম্বের স্থানে বস্তুটি রাখিলে বস্তুটির পূর্বের স্থানে প্রতিবিম্ব গঠিত হইবে, অর্থাৎ অনুবন্ধী ফোকাসদ্বয়ের যে-কোন একটিতে বস্তু রাখিলে

অন্যটিতে উহার প্রতিবিম্ব গঠিত হইবে। সরু লেন্সের অনুবন্ধী বিন্দুযুগলের পারস্পরিক অবস্থান-সম্পর্কিত সংকেতসূত্র হইল, $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$। এইজন্য সূত্রটিকে কখনও কখনও অনুবন্ধী সম্পর্ক (conjugate relationship) বলা হইয়া থাকে।

মন্তব্য ঃ মনে কর যে, অনুবন্ধী ফোকাস্‌দ্বয়ের একটি অসদ্‌। তাহা হইলে ঐ স্থানে কোন প্রকৃত বা সদ্‌ বস্তু রাখিলে অন্য ফোকাসে প্রতিবিম্ব গঠিত হইবে না। কিন্তু যদি বস্তুটি এমন অবস্থানে রাখা হয় যে উহা হইতে একটি রশ্মিগুচ্ছ বাহির হইয়া প্রতিফলন বা প্রতিসরণের পর উহা ঐ অসদ্‌ ফোকাস্‌ হইতে আসিতেছে বলিয়া প্রতীয়মান হয়, তাহা হইলে অনুবন্ধী ফোকাস্‌দ্বয়ের অন্যটিতে প্রতিবিম্ব গঠিত হইবে।

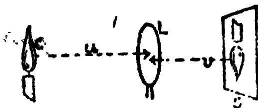
৭৩। প্রতিবিম্ব দেখিয়া লেন্স উত্তল না অবতল নির্ধারণ করা :—

(১) তোমার বইয়ের পাতার মুদ্রিত অক্ষর এবং চক্ষুর মধ্যে লেন্সটি ধর। লেন্সটি একটু আগাইয়া-পিছাইয়া অক্ষরগুলি সুস্পষ্টভাবে দেখিবার চেষ্টা কর। যদি অক্ষরগুলি বিবর্ধিত, অসদ্‌ এবং সোজাভাবে দেখা যায় তাহা হইলে লেন্সটি উত্তল বা অভিসারী বুঝিতে হইবে। যদি কিছুতেই ঐরূপ দেখা সম্ভব না হয় তবে লেন্সটি অবতল মনে করিবে।

(২) একটি মোমবাতি জ্বালাইয়া কিছুটা দূরে রাখ। মোমের আলো একখানি সাদা পর্দার উপর আসিয়া পড়িতে দাও। এখন লেন্সখানিকে পর্দার কাছাকাছি আনিয়া সামান্য আগাইয়া পিছাইয়া পর্দার উপর প্রতিবিম্ব ফেলার চেষ্টা করে। পর্দার উপর সদ্‌ প্রতিবিম্ব ফেলা সম্ভব হইলে লেন্সখানি উত্তল, সম্ভব না হইলে লেন্সখানি অবতল মনে করিতে হইবে।

৭৪। $u-v$ পদ্ধতিতে উত্তল লেন্সের ফোকাস্‌দূরত্ব নির্ণয় করার পরীক্ষা :—

প্রথম পদ্ধতি।—একটি খাড়া স্ট্যাণ্ডের উপর প্রদত্ত উত্তল লেন্সখানি (L) ধর (চিত্র ৭৫)। উহার একদিকে একটি প্রজ্বলিত মোমবাতি (C) রাখ। লেন্সটির অন্য পার্শ্বে একখানি সাদা স্ক্রীন (S) খাড়া করিয়া ধর। Cর কেন্দ্র, Lএর কেন্দ্র ও Sর কেন্দ্র যেন একই অনুভূমিক রেখায় থাকে। লেন্স, মোমবাতি ও স্ক্রীনের অবস্থান পরিবর্তন করিয়া পর্দার উপর মোমশিখার

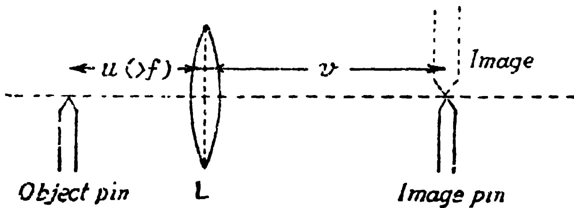


চিত্র ৭৫

একটি সুস্পষ্ট সদ্‌ (উল্টানো) প্রতিবিম্ব ফেল। মোমবাতি ও লেন্সের মধ্যের দূরত্ব

লেন্সের ফোকাস্‌দূরত্ব হইতে বেশি না হইলে সদ্‌ প্রতিবিম্ব পাইবে না। বাতি ও লেন্সের দূরত্ব হইবে বস্তুদূরত্ব, u এবং স্ক্রীন ও লেন্সের দূরত্ব হইবে প্রতিবিম্ব-দূরত্ব, v। u ও v স্কেল দ্বারা মাপিয়া নিলে, $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$, এই সংকেতসূত্রের সাহায্যে f নির্ণয় করা যাইবে। C, L, Sএর পরস্পর অবস্থান বদলাইয়া কয়েক বার এই পরীক্ষা চালাইবে। প্রতি জোড়া u এবং v হইতে আলাদা আলাদা ভাবে f নির্ণয় করিবে। সকল fই এক হওয়া উচিত। সামান্য বিভিন্নতা থাকিলে ঐ f গুলির গড় হইবে fএর সম্ভাব্য মান।

দ্বিতীয় পদ্ধতি।—চিত্র ৭৬ দেখ। লেন্স Lকে একটি লেন্সধারকে (lens holder) বসাইয়া একটি অনুভূমিক আলোকবেঞ্চের (optical bench) একটি সচল পাদের (stand or carriage) উপর বসাও। লেন্সের আলোকতল (optical plane) যেন বেঞ্চের সহিত আড়ভাবে থাকে। সচল পাদের উপর এবার লেন্সটির দুই পাশে দুইটি পিন খাড়া করিয়া বসাও। পিনদুইটির শীর্ষবিন্দু যেন লেন্সের প্রধান অক্ষ বরাবর থাকে। প্রধান অক্ষকে চিত্র ৭৬-এ একটি অনুভূমিক বিন্দু-বিন্দু রেখা



চিত্র ৭৬

দ্বারা সূচিত করা হইয়াছে। মনে কর যে, বাম দিকের পিনটি 'বস্তু পিন' (object pin)। ডান দিক হইতে লেন্সের দিকে তাকাইলে এই 'বস্তু পিনে'র একটি সদ্‌ (উল্টানো) প্রতিবিম্ব দেখা যাইবে। এখন দ্বিতীয় পিন বা 'প্রতিবিম্ব পিন'টিকে (image pin) সরাইয়া এমন জায়গায় নিতে হইবে যাহাতে ডান দিক হইতে দেখিলে 'প্রতিবিম্ব পিন' এবং বস্তু পিনের প্রতিবিম্বের মধ্যে কোন লম্বন ভুল না থাকে। এইরূপ হইলে 'বস্তু পিনে'র খাড়া প্রতিবিম্বটি (বিন্দু-বিন্দু রেখা দ্বারা অংকিত) এবং 'প্রতিবিম্ব পিন-টি' একই স্থানে আছে বুঝিতে হইবে। এই অবস্থায় লেন্স হইতে বস্তু পিনের দূরত্বকে বস্তুদূরত্ব u এবং প্রতিবিম্ব পিনের দূরত্বকে প্রতিবিম্বদূরত্ব v বলিয়া ধরিবে। তারপর বাম দিক হইতে

দেখ। এই পরীক্ষায় অনুবন্ধী ফোকাসদ্বয়ের উভয়ই সদ্, তাই 'প্রতিবিম্ব পিনে'র প্রতিবিম্ব 'বস্তু পিনে'র অবস্থানে গঠিত হইবার কথা। না হইয়া থাকিলে, সামান্য পরিবর্তনের দরকার হইলে কর। এখন লেন্স হইতে 'বস্তু পিনে'র দূরত্বকে বস্তুদূরত্ব u বলিয়া ধর।

এইভাবে কয়েকবার নানা u ও সম্বন্ধীয় v নির্ণয় কর। তারপর $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$ সংকেতসূত্রের সাহায্যে (v ঋণ ধরিয়া) লেন্সের ফোকাসদূরত্ব f নির্ণয় কর। fএর মান সর্বদা এক হওয়া উচিত। সামান্য তারতম্য হইলে (প্রতি অনুবন্ধী ফোকাসদ্বয়ের ক্ষেত্রে) উহাদের গড় নির্ণয় কর। এই গড় হইবে লেন্সের ফোকাসদূরত্বের সম্ভাব্য মান।

Examples

1. An object is placed 6 inches away from a lens. An inverted image is formed 24 inches from the lens. Find the focal length.

উত্তর : উল্টানো প্রতিবিম্ব (অর্থাৎ সদ্ প্রতিবিম্ব) গঠিত হইয়াছে বলিয়া লেন্সটি একটি অভিসারী লেন্স ধরিতে হইবে এবং বস্তু লেন্সের এক দিকে থাকিবে এবং প্রতিবিম্ব অপর দিকে থাকিবে। এখানে, $u=+6$ ইঞ্চি ; $v=-24$ ইঞ্চি।

সংকেতসূত্র $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$ অনুযায়ী, তাহা হইলে, $-\frac{1}{24}-\frac{1}{6}=\frac{1}{f}$; বা, $f=-\frac{24}{5}=-4\cdot8$ ইঞ্চি।

2. An object is placed 10 inches away from a lens. An image is formed 20 inches from the lens on the same side. What kind of lens is it and what is its focal length ?

উত্তর : প্রতিবিম্ব ও বস্তু লেন্সের এক দিকেই আছে। অতএব প্রতিবিম্ব অসদ্ এবং প্রতিবিম্ব লেন্স হইতে বস্তু অপেক্ষা অধিক দূরত্বে আছে। সুতরাং লেন্স অবতল হইতে পারে না, ইহা উত্তল।

এখানে, $u=+10$ ইঞ্চি ; $v=+20$ ইঞ্চি ; $f=$? $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$। $\therefore \frac{1}{20}-\frac{1}{10}=\frac{1}{f}$; বা, $f=-20$ ইঞ্চি।

3. A convex lens of focal length 12 inches produces an erect image three times as high as the object. Where is the object ?

উত্তর : এখানে, $f=-12$ ইঞ্চি ; রৈখিক বিবর্ধন, $m=\frac{v}{u}=+3$; বা, $v=3u$; $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$।

$\therefore \frac{1}{3u}-\frac{1}{u}=-\frac{1}{12}$; বা, $\frac{1-3}{3u}=-\frac{1}{12}$; বা, $\frac{-2}{3u}=-\frac{1}{12}$, বা, $3u=24$; বা, $u=8$ ইঞ্চি।

4. How far from the object must a convex lens ($f=2$ inches) be placed to produce an image 10 inches away on the same side ? What magnification is produced ?

উত্তর ঃ এখানে $u=?$; $v=+10$ ইঞ্চি (বস্তু ও প্রতিবিম্ব একই দিকে আছে বলিয়া) ; $f=-2$ ইঞ্চি। $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$ । $\therefore\ \frac{1}{10}-\frac{1}{u}=-\frac{1}{2}$; বা, $\frac{1}{u}=\frac{1}{10}+\frac{1}{2}$; $u=1\frac{2}{3}$ ইঞ্চি।

রৈখিক বিবর্ধন, $m=\frac{v}{u}=\frac{10}{5/3}=\frac{10\times 3}{5}=6$ ।

Exercises

1. Explain what is meant by the principal axis, optical centre, and the principal focus of a lens.

2. Light is converging to a point P and a convex lens of focal length 20 cm. is placed at A in the path of the beam, where $AP=30$ cm. The beam now converges to Q. Calculate the distance AQ. উত্তর : 12 সে.মি. ।

3. State clearly what is meant by the focal length of a convex lens, and describe an experiment for its measurement.

4. A bright object 12 in. from a lens gives an image on a screen 8 in. beyond the lens. The object is moved 6 in. nearer to the lens. How must the screen now be moved so as to receive a clear image ? উত্তর : লেন্স হইতে 16 ইঞ্চি দূরে।

5. State the convention of signs that you use in calculations connected with lenses.

6. A lens is used to project an image three times the size of the object on to a screen. If the screen is 4 ft. from the object, find where the lens must be placed. Find also the focal length of the lens. উত্তর : একটি 0·75 ফুট ফোকাস্‌দূরত্বের একটি উত্তল লেন্স বস্তু হইতে 1 ফুট দূরে রাখিতে হইবে।

7. Draw diagrams to illustrate how a convex lens may produce a magnified image (a) which is real, (b) which is virtual. Explain the method of drawing.

8. A converging lens has a focal length 10 cms. Draw a graph on a squared paper, showing the conjugate relation between the object distance (u) and the image distance (v) from the lens.

9. Distinguish between real and virtual images, illustrating your answer by means of diagrams.

10. An object of height 1 cm. is placed at a distance of 20 cm. from a thin lens, and the image is found to be 3 cm. high and real. What kind of lens is it and what is its focal length ? উত্তর : উত্তল লেন্স ; ফোকাস্ দূরত্ব=30 সে. মি.

11. If you are given a lens, explain how you would find whether it is a converging or a diverging lens ?

12. An object is placed perpendicularly to the principal axis of a diverging lens of 5 cm. focal length and at a distance of 10 cm. from the lens. Find the position of the image and its relative size by drawing diagrams on a squared paper according to scale. Check up your drawing by calculation.

13. Explain the statement that a lens acts like a combination of truncated prisms.

14. What do you mean by 'relative aperture', 'focal plane' and the 'conjugate foci' of a lens ?

15. Show, by the method of geometric construction, how the position, size and nature of the image change when an object is brought from infinity up to a close vicinity of a convergent lens. Construct diagrams for six standard positions of the object.

পঞ্চম পরিচ্ছেদ

প্রিজ্‌ম দ্বারা মিশ্র আলোকের বিচ্ছুরণ
(Dispersion of Composite Light by Prism)
বিভিন্ন রং-এর আলোকের পুনর্মিশ্রণ
(Recombination of Colours)

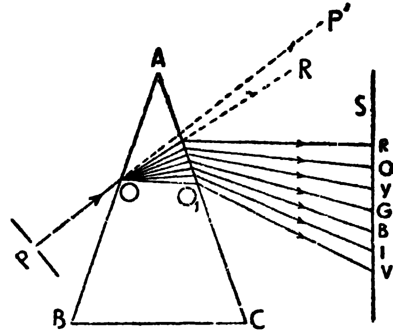
৭৫। **সাদা আলোর বিচ্ছুরণ :**—কোন কাঁচের প্রিজ্‌মের একটি প্রতিসরণ-পৃষ্ঠের উপর একফালি সাদা আলো ঐ পৃষ্ঠের সহিত হেলানভাবে ফেলিলে (এক প্রতিসরণতলে) প্রিজ্‌ম দ্বারা প্রতিসরণের পর উহা এক অপসারী আলোকরশ্মিগুচ্ছের আকারে বহির্গত হয়। এই অপসারী রশ্মিগুচ্ছের পথে আড়ভাবে একখানি সাদা পর্দা ধরিলে আলোকসম্পাতের ক্ষেত্রে বেগুনী, নীল, আকাশী, সবুজ, হলুদ, কমলা, লাল (বেনীআসহকলা বা VIBGYOR) এই সাতটি রং পর পর দেখা যায়।

স্যার আইজাক্ নিউটন এই ঘটনাটির প্রথম ব্যাখ্যা দেন। তিনি বলেন যে, সাদা আলো প্রকৃতপক্ষে যৌগিক, ইহা সাত রকমের বিভিন্ন মূল বর্ণের (monochromatic) আলোর সংমিশ্রণে গঠিত।

কোন মিশ্র আলোর বিভিন্ন বর্ণে বিভাজনের ঘটনাকে আলোর বিচ্ছুরণ বলা হয়। যৌগিক আলোর (compound light) বিচ্ছুরণ সম্ভব, এক বর্ণের আলোকের বিচ্ছুরণ সম্ভব নহে।

বিচ্ছুরণের ফলে বিভিন্ন রংএর যে পটি পর্দার উপর পড়ে উহাকে বর্ণালী (spectrum) বলা হয়। রামধনুতে সাত প্রকারের রং দেখা যায়, যদিও উহাতে সব রং সমান স্পষ্ট নয়। রামধনু সাদা আলোর বিচ্ছুরণজনিত প্রকৃতিজ একটি বর্ণালী ছাড়া আর কিছু নহে।

৭৬। প্রিজ্‌ম দ্বারা সাদা আলোর বিচ্ছুরণের একটি পরীক্ষা :— চিত্র ৭৭ দেখ। একখানি অস্বচ্ছ পাতের উপর আনুমানিক 1 সে.মি. লম্বা এবং 1 বা 2 মি.মি. চওড়া একটি রন্ধ্র (slit) কাট। তারপর একটি অন্ধকার ঘরে একটি বিজলী বাতি জ্বালাইয়া উহার সম্মুখে পাতের রন্ধ্রটি খাড়াভাবে ধরিয়া রাখার ব্যবস্থা কর। বিজলী বাতি হইতে যে সাদা আলোক ঐ রন্ধ্রের (P) মধ্য দিয়া বাহির হইবে তাহা দূরের একখানি সাদা পর্দার (S) উপর ফেল। তারপর প্রিজ্‌মটি (ABC) রশ্মির পথে ধর। প্রিজ্‌মের প্রতিসরণ-ধার যেন রন্ধ্রের সহিত সমান্তরাল হয়। আলোকরশ্মি-



চিত্র ৭৭

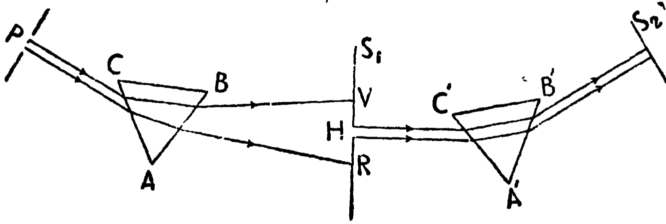
গুচ্ছটি প্রিজ্‌ম কর্তৃক প্রতিসৃত হইয়া উহার ভূমির দিকে (দিক্‌বিচ্যুত হইয়া) সরিয়া যাইবে। দেখিতে পাইবে যে পূর্বের একফালি সাদা আলোকের পরিবর্তে এখন বেশ চওড়া বহুবর্ণের এক আলোকপটি (colour-band) পর্দার উপর পড়িবে। এই আলোকপটিতে 'বেণীআসহকলা' রংগুলি পর পর দেখা যাইবে। লাল রংএর আলো সর্বাপেক্ষা কম দিক্‌বিচ্যুত হইবে, বেগুনী রংএর আলো সর্বাপেক্ষা অধিক দিক্‌বিচ্যুত হইবে। ইহার অর্থ এই যে, লাল আলো সর্বাপেক্ষা কম প্রতিসরণীয় (least refrangible) এবং বেগুনী আলো সর্বাপেক্ষা অধিক প্রতিসরণীয়। এখন প্রিজ্‌মটি আস্তে আস্তে হেলাইয়া সাদা আলোকরশ্মির আপতন-কোণ বদলাও। দেখিবে যে বর্ণালীও একদিকে সরিয়া যাইতেছে। প্রিজ্‌ম একই দিকে হেলাইতে থাকিলে বর্ণালী একদিকে সরিতে সরিতে অবশেষে এক সময় ক্ষণিকের জন্য স্থির থাকিয়া আবার উল্টা দিকে যাইতে সুরু করিবে। ঐ স্থির থাকিবার অবস্থান হইল প্রিজ্‌মটির পক্ষে আলোকের নিম্নতম দিক্‌-বিচ্যুতির অবস্থান। ঐ অবস্থানে বর্ণালীর ঔজ্জ্বল্য সর্বাপেক্ষা অধিক হইবে।

লক্ষ্য করিও যে বর্ণালীতে বিভিন্ন রংএর পটি সমান সমান স্থান অধিকার করিয়া থাকে না। বেগুনী রংএর পটি সর্বাপেক্ষা চওড়া। কমলা রংয়ের পটি সবচেয়ে সরু।

আপতিত সাদা আলোকে যে ঐ সব বিভিন্ন রংএর আলোগুলি ছিল তাহা দেখান দরকার। একখানা লাল কাঁচ রন্ধ্র ও প্রিজ্‌মের মাঝামাঝি সাদা আলোর সঞ্চারনপথে

আড়ভাবে ধর। লাল কাঁচ লাল ভিন্ন অন্য সব রং শোষণ করিয়া নিবে। এই পর্দার উপরে বর্ণালীতে লাল ভিন্ন অন্য কোন রং থাকিবে না। 'বেণীআসহকলা'-র বিভিন্ন রংএর কাঁচের সাহায্যে এই পরীক্ষা করিলে বুঝা যাইবে যে বর্ণালীর সকল রংই সাদা আলোর মধ্যে ছিল।

প্রিজ্‌ম রং সৃষ্টি করে না, বিভিন্ন রংএর আলোককে বিভিন্ন পরিমাণে দিক্‌বিচ্যুত করিয়া উহাদিগকে স্বতন্ত্র করিয়া দেয় মাত্র—এই তথ্য প্রমাণ করিবার জন্য নিম্নলিখিত পরীক্ষাটি করা যাইতে পারে (চিত্র ৭৮)। রন্ধ্র Pর মধ্য দিয়া



চিত্র ৭৮

আসিয়া সাদা আলো ABC প্রিজ্‌মের উপর পড়ে এবং উহা দ্বারা প্রতিসৃত ও বিচ্ছুরিত হইবার ফলে S_1 পর্দার উপর VR বর্ণালীপটি সৃষ্ট করে। পর্দার উপর ছোট একটি ছিদ্র (H) আছে। পর্দা একটু উপর-নীচে সরাইয়া যে-কোন একটিমাত্র রংএর আলোক ঐ বর্ণালী হইতে ছিদ্রপথটির মধ্য দিয়া লইয়া যাওয়া যায়। ঐ এক রংএর আলো $A'B'C'$ প্রিজমের মধ্য দিয়া গিয়া S_2 পর্দার উপর পড়িবে। ABC ও $A'B'C'$ প্রিজ্‌মের ভূমি একই দিকে থাকা দরকার। তাহা হইলে দেখা যাইবে যে, এক রংএর আলোক-রশ্মিগুলি আরও দিক্‌বিচ্যুত হইবে বটে, কিন্তু আর কোন বর্ণে বিভক্ত হইবে না। S_1 পর্দা প্রয়োজনমত একটু উপরে বা নীচে সরাইয়া বর্ণালীটির বিভিন্ন বর্ণের আলো ব্যবহার করিলে দেখা যাইবে যে, লাল হইতে বেগুনী পর্যন্ত আলোর দিক্‌বিচ্যুতি ক্রমাগত বাড়িতে থাকে। অর্থাৎ বেগুনী আলো সর্বাপেক্ষা বেশি প্রতিসরণীয় এবং লাল আলো সর্বাপেক্ষা কম প্রতিসরণীয় হয়। হলুদ আলোকের প্রতিসরণ-পরিমাণ হয় ইহাদের মাঝামাঝি রকমের। এই কারণে হলুদ আলোকের রংকে মধ্যম (বা গড়) রং বলা হয়। বিভিন্ন আলোকের দিক্‌বিচ্যুতি বিভিন্ন বলিয়াই প্রতিসরণের পর সাদা আলো নানা বর্ণের আলোকে বিচ্ছুরিত হয়। বিভিন্ন রংএর আলোর এই বিভিন্ন প্রতিসরণীয়তাই (refrangibility) বর্ণালীগঠনের মূল কারণ।

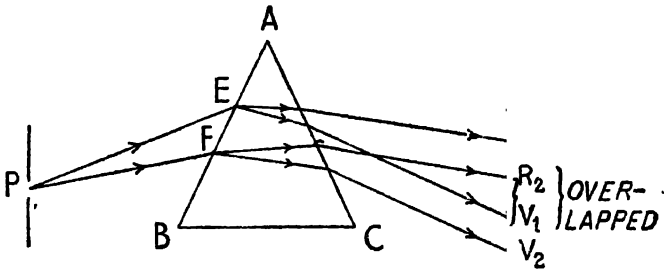
সিদ্ধান্ত—(১) সাদা আলোক সাতটি মূল রংএর আলোর সংমিশ্রণ ;

(২) সাদা আলোক প্রিজ্‌মের মধ্য দিয়া গেলে 'বে-নী-আ-স-হ-ক-লা' এই সাতটি মূল রংএর আলোকে বিভক্ত হইয়া যায় ;

(৩) বিভিন্ন রংএর আলোকের প্রতিসরণীয়তা বিভিন্ন—লালের সর্বনিম্ন ও বেগুণীর সর্বোচ্চ। হলুদের প্রতিসরণীয়তা ইহাদের ঠিক মাঝামাঝি বলিয়া হলুদকে মধ্যম বা গড় রং বলা হয় ;

(৪) বর্ণালীপটিতে বিভিন্ন রংএর পটি বিভিন্ন পরিমাণে চওড়া হয় বেগুণীর পটি সর্বাপেক্ষা চওড়া, কমলার সর্বাপেক্ষা সরু

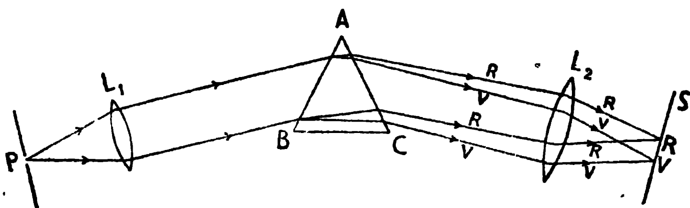
৭৭। **বিশুদ্ধ ও অবিশুদ্ধ বর্ণালী**ঃ—যদি একটি মাত্র সাদা আলোকরশ্মি পাওয়া সম্ভব হইত তবে উহা প্রিজ্‌মের মধ্য দিয়া লইয়া গেলে বর্ণালীতে স্পষ্ট ও স্বতন্ত্র ভাবে 'বেণীআসহকলা' (vibgyor) রংগুলি পাওয়া যাইত, এক রংএর সহিত অন্য কোন রং মিশ্রিত হইত না। এই প্রকারের একেবারে পরস্পর স্বতন্ত্র রংএর আলোর কোন পটিকে একটি বিশুদ্ধ বর্ণালী আখ্যা দেওয়া হয়। কিন্তু কোন আলোকগুচ্ছ খুব সরু



চিত্র ৭৯

হইলেও উহাতে অসংখ্য রশ্মি থাকে। প্রত্যেকটি রশ্মি পর্দার উপর পৃথক পৃথক অবস্থানে স্বকীয় বর্ণালী সৃষ্টি করিবে। রশ্মিগুলি পরস্পরের সন্নিকট থাকায় (চিত্র ৭৯) ঐ বিভিন্ন বর্ণালীসমূহ একে অন্যের উপর পড়িবে, ফলে লব্ধ বর্ণালী অবিশুদ্ধ বা সংকর হইবে। অবিশুদ্ধ বর্ণালীতে এক রংএর সহিত অন্য রং মিশ্রিত থাকে।

৭৮। বিশুদ্ধ বর্ণালী গঠন করার পদ্ধতি :—মনে কর, P (চিত্র ৮০) একটি খাড়া সরু রন্ধ্র। ইহা সাদা আলোক দ্বারা আলোকিত হইয়াছে। রন্ধ্রটি একটি অভিসারী লেন্স L_1এর প্রধান ফোকাসে আছে। রন্ধ্রপথে আগত রশ্মিগুলি এই লেন্সটির ক্রিয়ায় সমান্তরাল হইয়া উহা হইতে বাহির হইবে। প্রিজ্ম ABCর প্রতিসরণধার খাড়াভাবে আছে, অর্থাৎ ইহা রন্ধ্রের সমান্তরাল। প্রিজ্মটিকে হলুদ আলোর জন্য নিম্নতম দিক্-বিচ্যুতির অবস্থানে রাখা হয়। অতএব ইহা সকল আলোর জন্যই মোটামুটিভাবে নিম্নতম



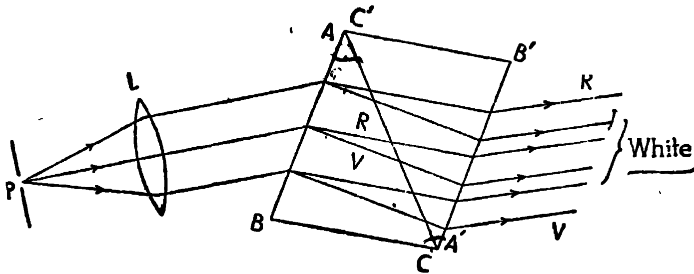
চিত্র ৮০

দিক্-বিচ্যুতির অবস্থায় থাকে। দ্বিতীয় একটি অভিসারী লেন্স (L_2) একটি নির্দিষ্ট রংএর সমান্তরাল রশ্মিগুলিকে অভিসারী করিয়া S পর্দার উপরে মিলিত করে। পর্দা S লেন্স L_2র প্রধান ফোকাসে রাখিতে হইবে। এইভাবে পর্দার উপর যে বর্ণালী (R হইতে V) গঠিত হয় উহা বিশুদ্ধ হয়। বর্ণালীর পটিগুলি সাদা আলোকের বিভিন্ন রংগুলি দ্বারা গঠিত রন্ধ্রটির পৃথক্ পৃথক্ সদ্ প্রতিবিম্ব মাত্র। রন্ধ্র যত সরু হইবে রঙীন পটিগুলি তত স্পষ্ট (sharp) হইবে।

৯। বর্ণালীর রংগুলির পুনর্মিশ্রণ :—

(১) দুইটি পরস্পর উল্টানো প্রিজ্মের সাহায্যে।—একটি সরু রন্ধ্র (P) দিয়া একটি অতি সংকীর্ণ আলোকরশ্মিগুচ্ছ একটি অভিসারী লেন্স (L)এর উপর পতিত হইয়াছে (চিত্র ৮১)। রন্ধ্র P লেন্স Lএর প্রধান ফোকাসে থাকায় বহির্গত রশ্মিগুলি সমান্তরাল হইয়া প্রিজ্ম ABCর উপর আপতিত হয়। ABC পীত আলোকের জন্য নিম্নতম দিক্‌বিচ্যুতির অবস্থানে বসান থাকে। $A'B'C'$ প্রিজ্মটি সর্বপ্রকারে ABC-

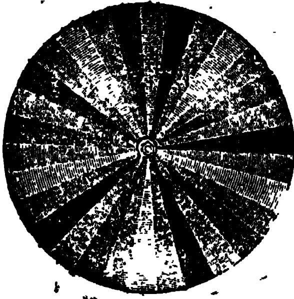
প্রিজ্‌মের অনুরূপ। ইহা উল্টা করিয়া এমনভাবে ABC প্রিজ্‌মের সহিত লাগাইয়া রাখা হয় যে উভয়ে মিলিয়া সমান্তরাল পৃষ্ঠবিশিষ্ট একটি কাঁচের স্ল্যাব গঠন করে। ABC প্রিজ্‌ম প্রতিটি রশ্মির আলোকের বিচ্ছুরণ ঘটায়। $A'B'C'$ প্রিজ্‌ম উল্টান বলিয়া ঐ বিচ্ছুরণ ইহা দ্বারা নাকচ হইয়া যায়। ফলে প্রিজ্‌ম-সমন্বয় হইতে বহির্গত আলো একটি সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছরূপে বাহির হয়। অবশ্য লেন্স হইতে বহির্গত সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছের তুলনায় এই বহির্গত সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছের কিছুটা পার্শ্বসরণ ঘটে। একখানি সাদা পর্দার উপর এই আলো ফেলিলে সাদা আলোই চোখে পড়িবে। অবশ্য ইহার প্রান্তিক ধারদুইটি বেগুনী ও লাল আলো দ্বারা ঈষৎ রঞ্জিত থাকিবে। প্রান্তীয় রশ্মিগুলির আলোক-বিচ্ছুরণের জন্য এইরূপ ঘটিয়া থাকে।



চিত্র ৮১

(২) **নিউটনের বর্ণচাকতির সাহায্যে।**—মানুষের চক্ষু কিছু দেখিলে দৃষ্ট বস্তুটি সরাইয়া লওয়ার পরও $\frac{1}{10}$ সেকেণ্ড সময় ধরিয়া উহাকে দেখিতে থাকে। এই ঘটনাকে দৃষ্টিনির্বন্ধ (persistence of vision) বলা হয়। যদি চোখের সামনে অনেকগুলি দৃশ্য সেকেণ্ডে দশটির বেশি হারে দেখান হয়, তাহা হইলে চক্ষু ইহাদের স্বতন্ত্র করিয়া দেখিতে পায় না, দেখে ইহাদের মিলিত রূপ। দৃশ্যগুলি একরকম হইলে এক অবিচ্ছিন্ন দৃশ্য দেখা যায়। দৃশ্যগুলি বিভিন্ন হইলে ইহাদের এক মিলিত বা মিশ্রিত রূপ দেখা যাইবে। নিউটনের বর্ণচাকতির সাহায্যে বর্ণালীর রংগুলির পুনর্মিশ্রণের প্রক্রিয়া দৃষ্টিনির্বন্ধের ক্রিয়ায় সম্পন্ন হয়।

চিত্র ৮২ দেখ। বর্ণচাকৃতিটি একটি বৃত্তাকার বোর্ড দ্বারা নির্মিত। ইহাকে চারিটি কোয়াড্রেণ্টে ভাগ করিয়া প্রত্যেক ভাগকে বর্ণালীর সাতটি বর্ণে যথাযথভাবে রঞ্জিত করা হয়। সাদা আলোকে বিভিন্ন রং যে অনুপাতে আছে প্রত্যেক কোয়াড্রেণ্টে বিভিন্ন রংএর পটির আপেক্ষিক ক্ষেত্রফল ঠিক সেই অনুপাতেই করা হয়। চাকৃতিখানি একটি স্ট্যাণ্ডের উপর খাড়াভাবে ধরা থাকে এবং একটি ঘূর্ণনদণ্ডের সাহায্যে ইহাকে ঘুরান হয়। ঘূর্ণনদণ্ড চাকৃতির কেন্দ্রে (পিছন দিকে) অনুভূমিকভাবে লাগানো থাকে। চাকৃতিখানি দ্রুতবেগে (সেকেণ্ডে দশ বারের অধিক) ঘুরাইলে চাকৃতির বর্ণ-রঞ্জিত পৃষ্ঠ সাদা বোধ হইবে। দৃষ্টিনির্বন্ধের ফলে বর্ণালীর রংগুলি মিশ্রিত হইয়া সাদা আলোর অনুভূতি জন্মায়।



চিত্র ৮২—নিউটনের চাকৃতি।

৮০। **আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্য** :—আলোক এক প্রকারের বিকিরণ। ইহাকে ইথরে উৎপন্ন তড়িৎচুম্বকীয় আড়-তরঙ্গ বলিয়া বিবেচনা করা হয়। বিভিন্ন রংএর আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্য বিভিন্ন। তরঙ্গদৈর্ঘ্য বিভিন্ন বলিয়াই উহাদের দ্বারা নানা বর্ণের সৃষ্টি হয়। লাল আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্য বেগুনী আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের প্রায় দ্বিগুণ। বেগুনী আলো প্রিজ্‌মের মধ্য দিয়া গেলে লাল অপেক্ষা অধিক দিক্-বিচ্যুত হয়। অতএব বলা যায় যে, প্রিজ্‌ম হ্রস্ব তরঙ্গগুলিকে দীর্ঘ তরঙ্গ অপেক্ষা অধিক দিক্‌বিচ্যুত করে। এইজন্য বেগুনী আলোকের জন্য কাঁচের প্রতিসরণ-গুণাঙ্ক লাল আলোকের জন্য কাঁচের প্রতিসরণ-গুণাঙ্ক অপেক্ষা বড় হয়। আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্য আমাদের জ্ঞাত নানারকমের সাধারণ দৈর্ঘ্যগুলির মধ্যে যে-কোনটি অপেক্ষা অনেক ছোট। আলোর বেগ (v), 3×10^{10} সে. মি., প্রতি সেকেণ্ডে। লাল আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য (λ), 0·00008 সে.মি.। তাহা হইলে স্পষ্টতঃই বুঝা যাইতেছে যে, কোন লাল আলোকের উৎস হইতে প্রতি সেকেণ্ডে v দৈর্ঘ্যের মধ্যে, $\left(\frac{3 \times 10^{10}}{8 \times 10^{-5}}\right) = 3·75 \times 10^{14}$ সংখ্যক লাল আলোকতরঙ্গ যাইতে থাকে। এই শেষ রাশিটির নাম স্পন্দনসংখ্যা (frequency)। তাহা হইলে বলা যাইতে পারে যে, আলোর বেগ (v) = স্পন্দন-সংখ্যা, n) × (তরঙ্গদৈর্ঘ্য, λ) = $n \times \lambda$। এই সূত্রটি সকল রংএর আলোর বেলাই প্রযোজ্য, কারণ সকল রংএর আলোরই বেগ সমান।

Exercises

1. Explain what you understand by 'dispersion' of light. Distinguish between a pure and an impure spectrum.

2. What is a spectrum ? Describe an experimental arrangement by which you can produce a pure spectrum on a white screen.

3. Describe an experiment to show that a prism does not produce colours, it only separates them.

4. Describe an experiment to show that white light consists of the 'vibgyor' colours.

5. Describe a simple experiment to show the phenomenon of recombination of colours.

6. Since a lens can be taken as made up of two prisms, do you expect any dispersion of colours when light passes through a lens ?

7. How would you arrange a lamp, a slit, two convergent lenses, and a prism to form a pure spectrum on a screen ? Explain your arrangement by drawing a ray-diagram.

8. Sunlight is entering a dark room through a narrow vertical crack in the shutter. An observer who can see the crack distinctly looks at it through a prism with its edge vertical. Describe what he sees.

পরিশিষ্ট

মৌলসমূহের তালিকা

মৌল	প্রতীক	পারমাণবিক সংখ্যা	পারমাণবিক ভার
হাইড্রোজেন	H	1	1·0080
হিলিয়াম	He	2	4·003
লিথিয়াম	Li	3	6·940
বেরিলিয়াম	Be	4	9·013
বোরন	B	5	10·82
কার্বন	C	6	12·010
নাইট্রোজেন	N	7	14·008
অক্সিজেন	O	8	16·0000
ফ্লোরিন	F	9	19·00
নিয়ম	Ne	10	20·183
সোডিয়াম	Na	11	22·997
ম্যাগনেসিয়াম	Mg	12	24·32
অ্যালুমিনিয়াম	Al	13	26·97
সিলিকন	Si	14	28·06
ফস্‌ফরাস্‌	P	15	30·98
সাল্‌ফার	S	16	32·066
ক্লোরিন	Cl	17	35·457
আর্গন	A	18	39·944
পটাসিয়াম	K	19	39·098
ক্যালসিয়াম	Ca	20	40·08
স্ক্যান্‌ডিয়াম	Sc	21	45·10
টাইটেনিয়াম	Ti	22	47·90
ভ্যানাডিয়াম	V	23	50·95
ক্রোমিয়াম	Cr	24	52·01
ম্যাঙ্গানিজ্‌	Mn	25	54·93
লৌহ	Fe	26	55·85
কোবাল্ট	Co	27	58·69
নিকেল	Ni	28	58·69
তামা	Cu	29	63·54
দস্তা	Zn	30	65·38
গ্যালিয়াম	Ga	31	69·72
জারমেনিয়াম	Ge	32	72·60
আর্সেনিক	As	33	74·91
সেলিনিয়াম	Se	34	78·96
ব্রোমিন	Br	35	79·916
ক্রিপ্‌টন	Kr	36	83·7
রুবিডিয়াম	Rb	37	85·48
স্ট্রন্‌সিয়াম	Sr	38	87·63
ইটি্রয়াম	Y	39	88·92
জির্‌কোনিয়াম	Zr	40	91·22
কলাম্বিয়াম বা নায়োবিয়াম	Cb	41	92·91
মলিবডিনাম	Mo	42	95·95
————	Tc—	43	——
রুথেনিয়াম	Ru	44	101·7
রোডিয়াম	Rh	45	102·91
প্যালাডিয়াম	Pd	46	106·7
রৌপ্য	Ag	47	107·880
ক্যাড্‌মিয়াম	Cd	48	112·41
ইন্‌ডিয়াম	In	49	114·76
টিন	Sn	50	118·70
অ্যান্টিমনি	Sb	51	121·76
টেলুরিয়াম	Te	52	127·61

মৌলসমূহের তালিকা

মৌল	প্রতীক	পারমাণবিক সংখ্যা	পারমাণবিক ভার
আয়োডিন	I	53	126·92
জেনন্	Xe	54	131·3
[illegible]াম	Cs	55	132·91
[illegible]রিয়াম	Ba	56	137·36
লেনথেনাম	La	57	138·92
সিরিয়াম	Ce	58	140·13
প্রেসিওডিমিয়াম	Pr	59	140·92
নিওডিমিয়াম	Nd	60	144·27
	Pm	61	148
স্যামেরিয়াম	Sm	62	150·43
ইউরোপিয়াম	Eu	63	152·6
গ্যাডোলিয়াম	Gd	64	169·72
ট্যার্‌বিয়াম	Tb	65	169·2
ডস্‌প্রিয়ান	Dy	66	162·46
হালমিয়াম	Ho	67	164·94
[illegible]বিয়াম	Er	68	167·2
[illegible]ম	Tm	69	169·4
[illegible]বিয়াম	Yb	70	173·04
[illegible]য়াম	Lu	71	174·99
হ্যাফ নিয়াম	Hf	72	178·6
[illegible]ন্টেলাম	Ta	73	180·88
[illegible]ফ্রাম বা [illegible]স্টেন	W	74	183·92
[illegible]নিয়াম	Re	75	186·31
ওস্‌মিয়াম	Os	76	190·2
ইরিডিয়াম	Ir	77	193·1
প্ল্যাটিনাম	Pt	78	195·23
স্বর্ণ	Au	79	197·2
পারদ	Hg	80	200·61
থ্যালিয়াম	Tl	81	204·39
সীসা	Pb	82	207·21
বিস্‌মাথ	Bi	83	209·00
পোলোনিয়াম	Po	84	210
অ্যাক্‌টিনন	At	85	—
র‍্যাডন	Rn	86	222 00
———	Fr	87	——
রেডিয়াম	Ra	88	226·05
অ্যাক্‌টিনিয়া	Ac	89	——
থোরিয়াম	Th	90	232·12
প্রোট্যাক্‌টিনিয়া	Pa	91	231
ইউরেনিয়াম	U	92	238·07
নেপ্‌চুনিয়াম	Np	93	237
প্লুটোনিয়াম	Pu	94	293
অ্যামেরিসিয়াম	Am	95	241
কুরিয়াম	Cm	96	242
বার্‌কেলিয়াম	Bk	97	—
ক্যালিফোরনিয়াম	Cf	98	—